MEDDELELSER

FRA

VESTLANDETS FORSTLIGE FORSØKSSTATION

BIND 5 — HEFTE 4

MEDDELELSE NR. 18
FRA
VESTLANDETS FORSTLIGE FORSØKSSTATION

Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden

II. Untersuchungen aus Westnorwegen

Von

TORBJØRN GAARDER
und
O. GRAHL-NIELSEN

BERGEN 1935
A.S JOHN GRIEGS BOKTRYKKERI

„Meddelelser fra Vestlandets forstlige Forsøksstation"

publiseres under redaksjon av stasjonens bestyrer; forfatterne er selv ansvarlig for innholdet av deres avhandlinger.

Meddelelsene der kommer som tvangfri hefter, gis fortløpende nummer; heftene forenes til bind. De fåes tilkjøps ved henvendelse til forsøksstasjonen.

(Adr.: Bergens Museum, Bergen.)

INHALT

Seite

Einleitung 7

Beschreibung der untersuchten Bodenproben 14

Die benutzten Analysenmethoden 21

Die Analysenresultate 26

Diskussion:

Reaktionsverhältnisse 27

Anorganische und organische Kolloide 33

Stickstoffinhalt 48

Wasserlösliche Bodenphosphorsäure 53

Phosphorsäurebindungsvermögen des Bodens 60

Salzsäurelösliche Bodenphosphorsäure 64

Kalzium und Magnesium 69

Löslichkeit der Bodenphosphorsäure bei wechselndem Kolloidinhalt und wechselnder Reaktion des Bodens 70

Resumé (in norwegisch) 103

Einleitung.

In einer früheren Publikation teilt der eine von uns[1]) die Resultate einer Reihe Untersuchungen über die Löslichkeit der Phosphorsäure in wässerigen Elektrolytlösungen bei wechselnder Reaktion (pH) und wechselndem Inhalt von Fe, Al, Ca und Mg mit, und benutzt die nachgewiesenen Löslichkeitsverhältnisse um Schlussfolgerungen über die Bindung und Freimachung der Phosphorsäure im Erdboden zu ziehen.

Die Untersuchungen zeigen, dass, wenn eine mit der Phosphorsäure äquivalente Menge von Fe, Al, Ca oder Mg vorhanden ist, dann werden überall in der Reaktionsskala verhältnismässig bedeutende Mengen von Phosphorsäure gelöst (siehe Fig. 1). Wenn dagegen Fe, Al, Ca oder Mg in Überschuss vorhanden sind, dann wird die Phosphorsäure nicht nur weit mehr umfassend gefällt, sondern ihre Bindung an die einzelne Metallbase verläuft in der Reaktionsskala anders als wenn nur eine mit der Phosphorsäure äquivalente Menge vorhanden ist. Die Versuchsresultate zeigen (siehe Fig. 2), dass selbst wenn nur ein verhältnismässig kleiner Überschuss der genannten Metallbasen in reaktionsfähigem oder aktivem Zustand vorhanden ist, dann vermögen sie alle, jede innerhalb ihres spezifisch charakteristischen Reaktionsgebietes, die Wasserlöslichkeit der Phosphorsäure so stark herabzusetzen, dass diese den Löslichkeitsverhältnissen entspricht, die gewöhnlich im Erdboden auftreten. Im Erdboden kommen Fe und Al oft in ganz bedeutenden Mengen als Hydroxyde vor; sie sind in dem Falle in bedeutendem Überschuss vorhanden, und die Phosphorsäure kann dann innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes, das die meisten Bodentypen charakterisiert, sehr stark und umfassend als Sesquioxydphosphat gebunden werden (siehe Fig. 3).

Mehrere der Bodenbestandteile kommen in grösserem oder geringerem Grade in kolloiddispersem Zustand, als Azidoide (Humus, Kieselsäure), Basoide (Eisen- und Aluminiumhydroxyd), Ampholytoide und Saloide vor. Der chemische Charakter, das mengenweise Vorkommen und der reaktionsfähige Zustand dieser Kolloide sind in hohem Grade für die Fähigkeit des Erdbodens Phosphorsäure zu binden oder freizumachen bestimmend (Gaarder, l. c.). Um die wechselnde Bindung

[1]) Torbjørn Gaarder: Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden. Die Löslichkeit der Phosphorsäure in wässerigen Elektrolytlösungen bei wechselndem pH-Wert und Kationen-Inhalt. Meddelelse nr. 14 fra Vestlandets Forstlige Forsøksstation. Bergen 1930.

und Freimachung der Phosphorsäure im Erdboden verstehen zu können, ist somit erforderlich, dass man den Inhalt des einzelnen Bodens von aktiven ionendispersen und kolloiddispersen Basen und Säuren kennt. Es fehlt einem indessen an Methoden, den aktiven Teil jedes einzelnen Bestandteils des Erdbodens zu bestimmen, und man muss sich deshalb darauf beschränken den totalen Inhalt des einzelnen Bestandteils, z. B. von Humussäure-, Kieselsäure-, Eisenhydroxyd- und Aluminiumhydroxydkolloiden, festzustellen. Auf der anderen Seite kann man sich

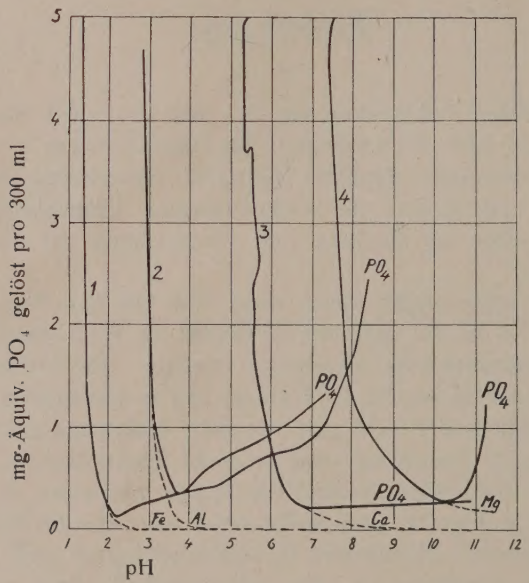


Fig. 1. Die Löslichkeit der Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion, wenn eine äquivalente Menge von respektive Fe (Kurve 1), Al (2), Ca (3) oder Mg (4) vorhanden ist.
(Fosforsyrens opløselighet ved vekslende reaksjon når der er til stede en ekvivalent mengde av henholdsvis Fe (kurve 1), Al (2), Ca (3) eller Mg (4)).

denken, dass gerade das Phosphorsäurebindungsvermögen des Bodens Auskunft über die Art und die aktive Menge einer Reihe der Bodenbestandteile geben können wird, wenn man erst darüber klar ist, wie jeder einzelne sich der Phosphorsäure gegenüber bei den wechselnden Reaktions(pH)werten geltend zu machen vermag.

Die oben erwähnte Untersuchung über die Löslichkeitsverhältnisse der Phosphorsäure zeigt, dass nichts die Annahme widerspricht, dass die wasserlösliche Phosphorsäure des Erdbodens als Salz oder Saloid an einer oder mehreren der Metallbasen Fe, Al, Ca und Mg gebunden vorkommt. Es geht aber ausserdem hervor, dass, wenn diese Bindung auch sehr stark und umfassend sein kann, so wird trotzdem die geringe Phosphorsäuremenge, die bei einer gegebenen Reaktionszahl gelöst vorkommen möge, ganz stark wechseln können. Nicht nur die Art und

die reaktionsfähige Menge der einzelnen vorhandenen Metallbase sind hier allein bestimmend, auch die Art und die reaktionsfähigen Mengen anderer vorhandenen Bestandteile sind von Bedeutung. Man muss somit erwarten, dass die Bindung und die Löslichkeit der Phosphorsäure von Bodenprobe zu Bodenprobe auch bei ein und derselben Reaktionszahl oder innerhalb eines gegebenen Reaktionsgebietes, stark wechseln können, und gleichfalls, dass die Einwirkung z. B. durch Kalkung

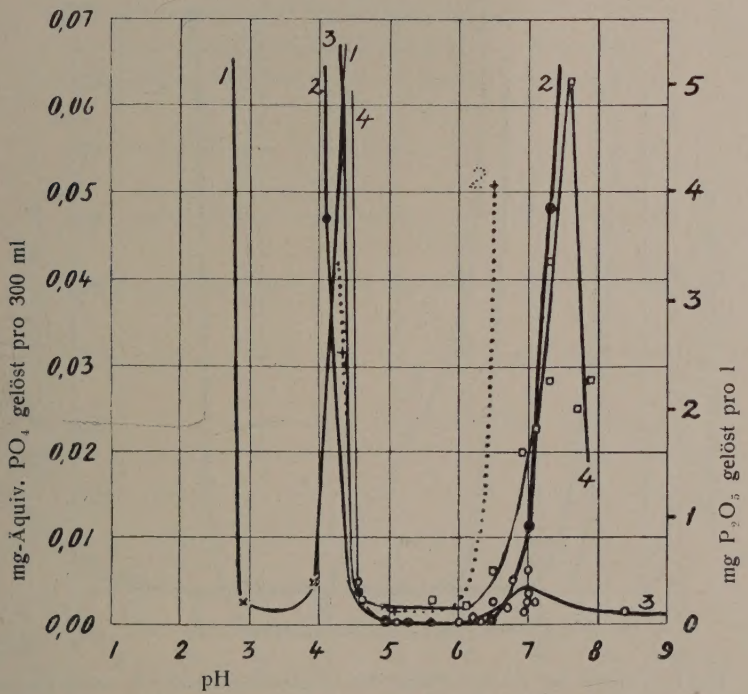


Fig. 2. Die Löslichkeit der Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion, wenn ein verhältnismässig kleiner Überschuss von respektive Fe (Kurve 1), Al (2), Al und Ca (3) oder Al und Mg (4) vorhanden ist.

(Fosforsyrens oppløselighet ved vekslende reaksjon når der er til stede et forholdsvis lite overskudd av henholdsvis Fe (kurve 1), Al (2), Al og Ca (3) eller Al og Mg (4)).

sehr verschiedene Resultate aufweisen kann, selbst wenn die einzelnen Böden dieselbe Menge Phosphorsäure enthalten und bei der Kalkung zu ein und demselben Reaktionswert gebracht werden (siehe Fig. 1—3). Der einzelne Bodentypus fordert mit anderen Worten seinem Aufbau und seiner Struktur entsprechend behandelt zu werden, sofern es gelingen soll, seine Phosphorsäure in für die Organismen günstige Löslichkeitsverhältnisse zu bringen.

In humiden Böden, wie z. B. Westnorwegens, werden die ionendispersen Basen mehr oder weniger ausgewaschen. Hier kann man somit erwarten, dass die Bindungs-

fähigkeit des Erdbodens von den Sesquioxydkolloiden geprägt sein soll. Aber das Vermögen der Sesquioxyde — und auch das der ionendispersen Basen — Phosphationen zu binden, wird die geschwächt, sofern Silikat- und Humationen d. h. Azidoide zugeführt werden. Diese Kolloidionen können nämlich adsorbierte Phosphationen aus den Sesquioxydkolloiden verdrängen. So hat die kolloide Kieselsäure ein merkbares Vermögen, die Sesquioxydkolloide und die Kalkbase desaktivieren zu können (siehe Fig. 4—6), und dies gilt auch für die kolloide Humussäure (siehe später

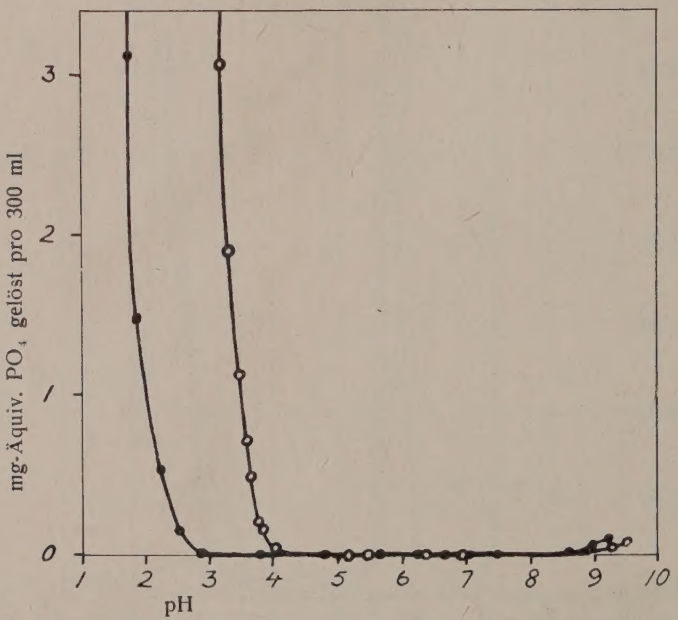


Fig. 3. Die Löslichkeit der Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion, wenn ein grosser Überschuss von Fe (•) oder Al (o) vorhanden ist.

(Fosforsyrens oppløselighet ved vekslende reaksjon når der er til stede et stort overskudd av Fe (•) eller Al (o)).

S. 75). Ist somit der Erdboden reich an saurem Humus, aber arm an minerogenen Bestandteilen, dann haben hier die Sesquioxydkolloide die Gelegenheit durch die Humussäurekolloide komplex gebunden oder in eine tiefere Schicht hinuntergeschlämmt zu werden. Sie werden in dieser Weise desaktiviert und in dem Falle wird der Bodenphosphorsäure die Gelegenheit, aufgelöst (und ausgewaschen oder von den Organismen aufgenommen) zu werden, erleichtert. Enthält aber der saure Humusboden auch relativ viel von Sesquioxydkolloiden, dann werden diese trotzdem die Gelegenheit haben können, sich der Phosphorsäure gegenüber stark geltend zu machen. Man muss somit erwarten, dass auch ein saurer Humusboden je nach

seiner Zusammensetzung und seinem Aufbau d. h. seiner Struktur, sich seiner Phosphorsäure gegenüber sehr verschieden verhalten kann.

Man kann also im voraus erwarten, dass nicht nur die Reaktion (das pH) und die Menge der vorhandenen ionen- und kolloiddispersen Basen, Säuren und Salze auf die Bindung und Freimachung der Phosphorsäure einwirken, auch der

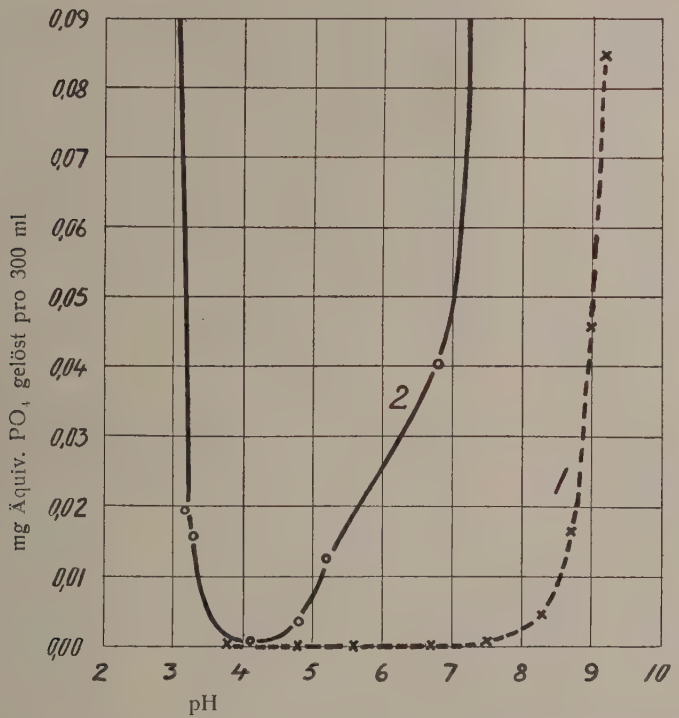


Fig. 4. Die Löslichkeit der Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion, wenn ein grosser Überschuss von Fe und respektive keine (Kurve 1) oder ein grosser Überschuss von Kieselsäure (Kurve 2) vorhanden sind.

(Fosforsyrens opløselighet ved vekslende reaksjon når der er til stede et stort overskudd av Fe og enten ingen (kurve 1) eller et stort overskudd av kiselsyre (kurve 2)).

reaktionsfähige oder a k t i v e Zustand, in dem die Bodenbestandteile vorkommen, z. B. Sesquioxyde auf der einen Seite und Humussäuren auf der anderen, muss einen starken Einfluss ausüben. Die Reaktion gibt an und für sich keine Auskunft über das Vermögen eines Bodens, wasserlösliche Phosphorsäure abgeben zu können, denn sowohl bei saurer, neutraler als basischer Reaktion wird ein Bodentypus je nach seiner Zusammensetzung und Struktur die Phosphorsäure sehr verschieden binden können. Wünscht man sich somit einen Einblick in die Faktoren

zu verschaffen, die die sehr wechselnde Bindung der Phosphorsäure in den verschiedenen Bodentypen bedingen, dann muss man auch den Inhalt des Erdbodens von u. a. Kieselsäure-, Humussäure- und Sesquioxydkolloiden feststellen.

In dieser Arbeit werden die Resultate solcher Untersuchungen vorgelegt, die wir mit Proben aus unangebautem Erdboden Westnorwegens vorgenom-

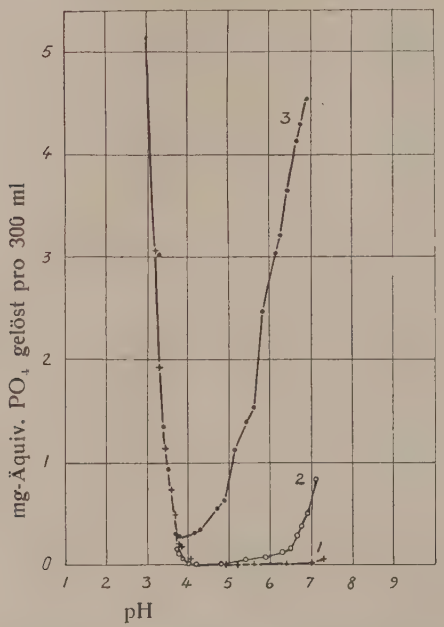


Fig. 5. Die Löslichkeit der Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion, wenn ein verhältnismässig kleiner Überschuss von Al und respektive keine (Kurve 1), eine äquivalente Menge (Kurve 2) oder ein Überschuss von Kiesel'säure (Kurve 3) vorhanden sind.

(Fosforsyrens opløselighet ved vekslende reaksjon når der er til stede et forholdsvis lite overskudd av Al og enten ingen kiselsyre (kurve 1), en ekvivalent mengde (kurve 2) eller et overskudd av kiselsyre (kurve 3)).

men haben. Die eingesammelten Proben stammen also aus einem ausgeprägt humiden Gebiete, wo die ionendispersen Bodenbestandteile leicht ausgewaschen werden.

Die Untersuchungen sind durch Beitrag von Vestlandets Forstlige Forsøksstation ermöglicht. Für die Unterstützung, die unserer Arbeit hierdurch geleistet ist, erlauben wir uns auch an dieser Stelle unseren besten Dank hervorzubringen.

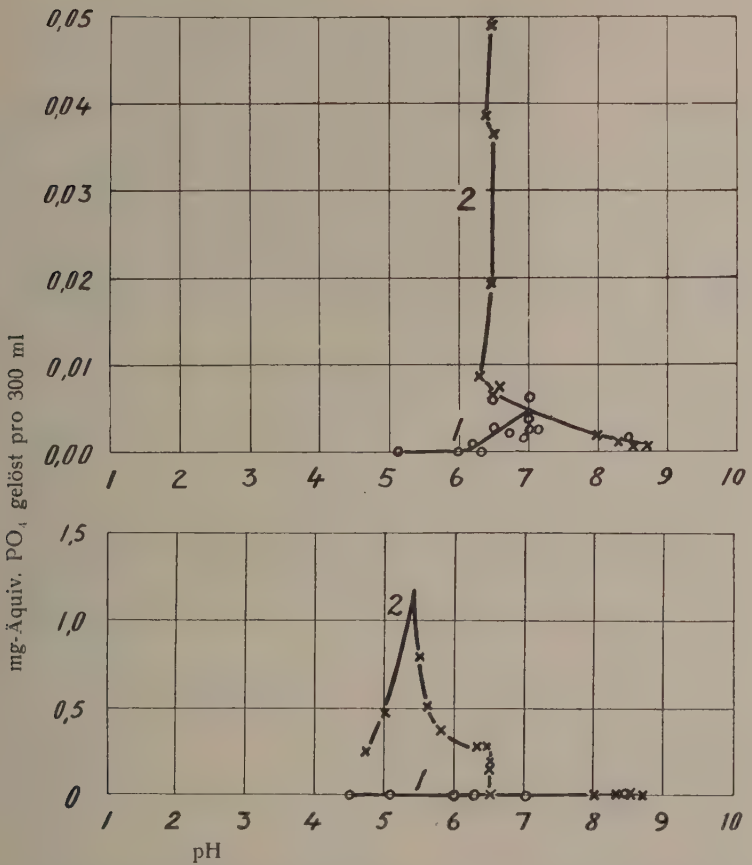


Fig. 6. Die Löslichkeit der Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion, wenn ein verhältnismässig kleiner Überschuss von sowohl Al als Ca und respektive keine (Kurve 1) oder ein Überschuss von Kieselsäure (Kurve 2) vorhanden ist.

(Fosforsyrens opløselighet ved vekslende reaksjon når der er til stede et forholdsvis lite overskudd av såvel Al som Ca og enten ingen (kurve 1) eller et overskudd av kiselsyre (kurve 2)).

Beschreibung der untersuchten Bodenproben.

Das benutzte Probenmaterial stammt aus unangebautem Erdboden des westlichen Norwegens, wo die jährliche Niederschlagshöhe gross und das Klima stark humid ist. Es sind 43 Proben von im ganzen 21 Bodentypen untersucht worden. Die Proben wurden auf der Strecke zwischen Jæren und Nordfjord eingesammelt.

Die in Tabelle 2 (S. 28) aufgeführten Proben Nr. 3—6, 18—29 und 32—37 sind vom Biochemischen Laboratorium, Bergens Museum (Professor Dr. Gaarder) eingesammelt, die übrigen sind vom Botanischen Laboratorium, Bergens Museum (Professor Dr. Oscar Hagem) eingesammelt und zu unserer Verfügung gestellt.

Die Proben verteilen sich auf die verschiedenen Bodentypen, wie in folgender Übersicht, Tabelle 1, angegeben:

Tabelle 1.

Bodentypus	Erdboden Nr.	Probe Nr. in der Tabelle 2 (S. 28)
I. Laubwaldboden, und Laub-Nadelwaldboden.	1, 8, 239, 240, 243	3—12
II. Nadelwaldboden.....	238, 247	13—17
III. Heideboden.....	2, 3, 4, 5, 6, 226, 256	18—37
IV. Moorboden.....	9, 241, 244, 248, 255	38—43
V. Gebirgsweide- und Weideboden..... ...	245, 246	44—45

Die untersuchten Böden sind im folgenden mit ihren Einsammlungsnummern angegeben. Die Nummer in Klammern gibt diejenige der Bodenproben in Tabelle 2 (S. 28) an, in welcher die gesamten Analysenresultate aufgeführt sind.

Boden Nr. 8 (Probe Nr. 3).

Boden aus entlegenem Felde in schrägem, nach Südosten wendendem Terrain, Fjøsanger Hof, Fjøsanger bei Bergen.

Vegetation: *Alnus, Juniperus communis, Pinus silvestris,* Grasarten, *Calluna.*
Bodenprofil:

a. 0—3 cm Rasen, das in
b. 3 — mindestens 45 cm gleichartigen, schwarzbraunen, klümperigen Mullboden übergeht.

Probe Nr. 3 stammt aus der b-Schicht.

Boden Nr. 1 (Probe Nr. 4—6).

Boden aus Erlenwald in dem Bergens Skogselskap gehörenden Sæle-Gebiet bei Kismul in der Nähe von Bergen. Das Terrain ist schräg und wendet nach Südosten.
Vegetation: Erlenwald mit Wacholder gemischt. Gesunder, frischer Moosteppich, mit Heidelbeersträuchern und Grasarten gemischt.
Bodenprofil:

a. 0 — 3 cm Moosteppich.
b. 3 — 15 cm schwarzer, mullhaltiger Boden von Krümmelstruktur mit feinen Mineralkörnern gemischt, der in
c. 15 — 30 cm hell schokoladebraunen, mehr mineralkornhaltigen und ein wenig steinernen Boden gradweise übergeht.
d. 30 — 41 cm graugelber, lehmiger und steinhaltiger Boden, der in noch grösseren Tiefen mehr und mehr steinhaltig wird.

Probe Nr. 4 stammt aus der b-Schicht.
» » 5 » » » c- »
» » 6 » » » d- »

Boden Nr. 239 (Probe Nr. 7).

Boden aus Birkenwald in Sanden bei Söfteland, Fana, in der Nähe von Bergen.
Vegetation: *Betula, Vaccinium Myrtillus, Viola Riviniana, Veronica officinalis, Phegopteris Dryopteris* und *Ph. polypodioides, Luzula pilosa, Potentilla tormentilla,* Gras.
Der Boden besteht aus einem mit Stein und Lehm gemischten Mullboden.

Boden Nr. 240 (Probe Nr. 8—9).

Boden aus einer grasbewachsenen Waldwiese in Birken- und Kieferwald in Sanden bei Söfteland, Fana, in der Nähe von Bergen.
Vegetation: *Betula, Pinus silvestris, Calluna vulgaris, Potentilla tormentilla, Carex sp.,* Gras, ein wenig *Sphagnum.*
Bodenprofil:

a. Schwarzer Humus.
b. Grauer, sandhaltiger Boden.

Probe Nr. 8 stammt aus der a-Schicht.
» » 9 » » » b- »

Boden Nr. 243 (Probe Nr. 10—12).

Boden aus älterem, dichtem Birkenwald, »Holtet«, Nesttun bei Bergen.
Vegetation: *Betula, Anthoxanthum odoratum, Pteridium aquilinium, Melampyrum sp.*
Bodenprofil:

a. 0 — 5 cm guter, grauer Mullboden.
b. 5 — 15 cm guter, ein wenig mehr roter Mullboden.
c. 15 — cm stark roter, sandhaltiger Boden.

Probe Nr. 10 stammt aus der a-Schicht.
» » 11 » » » b- »
» » 12 » » » c- »

Boden Nr. 238 (Probe Nr. 13).

Boden aus altem Kiefernwald in Sanden bei Söfteland, Fana, in der Nähe von Bergen.
Vegetation: *Pinus silvestris, Calluna vulgaris, Cornus Suecica, Potentilla tormentilla, Luzula pilosa,* Gras.
Der Boden besteht aus dichtem Rohhumus von Kiefernadeln, Rinden und Wurzeln.

Boden Nr. 247 (Probe Nr. 14—17).

Boden aus za. 30 Jahre alter Bepflanzung mit Fichte (Probefläche Nr. 62) in Moberglien, Os, in der Nähe von Bergen.
Vegetation: *Abies excelsa.*
Bodenprofil I:

a. 0 — 3 cm Streudecke und eine dünne Humusschicht.
b. 3 — 13 cm braungrauer, dichter, sehr sandhaltiger Mullboden.
c. 13 — 20 cm braungrauer, dichter, sehr sandhaltiger Mullboden.

Probe Nr. 14 stammt aus der a-Schicht.
» » 15 » » » b- »
» » 16 » » » c- »

Bodenprofil II ist einer anderen, aber nahegelegenen Lokalität mit reichlicher *Oxalis*-Entwicklung entnommen. Hier gibt es eine unbedeutende Streudecke und
d. hierunter guter, klümperiger Mullboden.

Probe Nr. 17 stammt aus der d-Schicht.

Boden Nr. 2 (Probe Nr. 18—21).

Boden aus Karo Nr. 1, auf der Halde des Hügels im Versuchsfeld Svele, Jæren.
Der Untergrund besteht aus Moränengrus.
Vegetation: Eingepflanzte *Abies excelsa,* die noch stocken, Heidekraut, *Vaccinium vitis idaea,* zerstreute *Vaccinium Myrtillus, Polytrichum.*

Die Pflanzenwurzeln drängen bis in den Übergang an der d-Schicht vor.
Bodenprofil:

a. 0 — 0,5 cm Streudecke.
b. 0,5 — 5 cm schwarzer, sandhaltiger, ein bischen loser Torfboden.
c. 5 — 15 cm sandhaltiger Boden, der mit der Tiefe von schwarz über schwarzbraun in braun übergeht.
Zwischen der c-Schicht und der danach folgenden d-Schicht geht die Farbe des Bodens von grauschwarz bis zu heller rotbraun über, ein s c h w a c h e r Zulauf zur Bildung von Bleichsand.
d. 15 — 55 cm rotbrauner, sandhaltiger Boden.
e. 55 — cm gelbgrauer, sandhaltiger Boden.

Probe Nr. 18 stammt aus der b-Schicht.
» » 19 » » » c- »
» » 20 » » » d- »
» » 21 » » » e- »

B o d e n N r. 3 (Probe Nr. 22—25).

Boden gleich nördlich vom Versuchsfeld Svele, Jæren (30 m gerade aus, im Verhältnis zu der oberen Linie des Karos 1). Das Terrain ist mehr eben und ein bischen wasserkrank.
Der Untergrund besteht aus Moränengrus.
Vegetation: *Myrica gale, Vaccinium vitis idaea, Vaccinium Myrtillus* zerstreut, verschiedenes Gras. Die Pflanzenwurzeln drängen durch die c- und d-Schichten und in die obersten Parteien der e-Schicht hinunter.
Bodenprofil:

a. 0 — 3 cm Streudecke.
b. 3 — 12 cm schwarzer, ein bischen loser, schwach sandhaltiger Torfboden.
c. 12 — 16 cm hellgraue Bleicherde.
d. 16 — 17 cm schwärzlicher Boden (beginnende Humus-Ahl-Schicht).
e. 17 — 42 cm schokoladebrauner, ziemlich gleichartig gefärbter Boden, der scharf in
f. 42 — cm hellen, graugelben, sandigen Boden übergeht.

Probe Nr. 22 stammt aus der b-Schicht.
» » 23 » » » c- »
» » 24 » » » e- »
» » 25 » » » f- »

B o d e n N r. 4 (Probe Nr. 26—29).

Boden aus dem Karo Nr. 2 (an der Grenze des Karos Nr. 3) im Versuchsfeld Vikesaa, Jæren. Das Terrain ist flach.
Der Untergrund besteht aus Moränengrus.

Vegetation: Sparsames Bewachsen von *Empetrum nigrum, Erica tetralix, Calluna, Vaccinium vitis idaea, Vaccinium uliginosum, Carex.*

Bodenprofil:

a. 0 — 0,5 cm Streudecke.
b. 0,5 — 15 cm dunkelbrauner, dichter, zäher Rohhumus (»Lyngskjold«), der im tiefsten Teil (14,5 — 15 cm) schwärzlich ist.
c. 15 — 25 cm weissgrauer — schwach gelber Bleichsand.
d. 25 — 75 cm verschieden gefärbter, »marmorierter«, Boden: Braungelbe, schwarze und graugefärbte Parteien wechseln unregelmässig durch die ganze Schicht hinunter.
e. 75 — 78 cm teilweise zusammengekitteter, gelbbrauner Boden. Beginnende Bildung von Ortstein.
f. 78 — 80 cm steinharte Schicht, Ortstein.
d. 80 — cm gelbbrauner Kiesboden.

Probe Nr. 26 stammt aus der b-Schicht.
» » 27 » » » c- »
» » 28 » » » d- » , gleichmässig verteilt.
» » 29 » » » e- »

Boden Nr. 226 (Probe Nr. 30).

Boden aus dem Versuchsfeld Hove (Nr. III), Selje in Nordfjord. Stark sandhaltiger Torfboden.

Boden Nr. 256 (Probe Nr. 31).

Heideboden gleich ausserhalb des Karos I a, Versuchsfeld Skjeiseide, in der Nähe von Haugesund.

Boden Nr. 5 (Probe Nr. 32—34).

Heideboden aus südöstlicher Halde des entlegenen Feldes des Pfarrhofes in Fjell, in der Nähe von Bergen.

Untergrund: Moränenmaterial über Urgebirge (Granitt).

Vegetation: *Calluna vulgaris,* und ausserdem ein wenig *Vaccinium vitis idaea* und *Empetrum nigrum.*

Bodenprofil:

a. 0 — 15 cm dunkelbrauner, dicht zusammenhängender, ein wenig torfiger Boden.
b. 15 — 30 cm ein wenig mehr dunkelbrauner, dichter, nicht torfiger Boden.
c. 30 — 50 cm noch ein wenig dunkelbrauner, dichter, nicht torfiger Boden.

Probe Nr. 32 stammt aus der a-Schicht.
» » 33 » » » b- »
» » 34 » » » c- »

Boden Nr. 6 (Probe Nr. 35—37).

Heideboden aus entlegenem Feld des Pfarrhofes in Fjell, in der Nähe von Bergen, 200 m in südlicher Richtung vom Boden Nr. 5 und auf nach Süden wendender Halde gelegen.

Untergrund: Urgebirge (Granitt) in 40 cm Tiefe.

Vegetation: *Calluna vulgaris*, und ausserdem ein wenig *Vaccinium vitis idaea* und *Empetrum nigrum*.

Profil:

a. 0 — 15 cm dunkelbrauner, ein wenig graulicher, dichter, schwach torfiger Boden.

b. 15 — 25 cm dunkelbrauner, ein wenig graulicher, schwerer, dichter, nicht torfiger Boden.

c. 25 — 40 cm, der Boden ist mehr rotbraun als die Probe a und b.

Probe Nr. 35 stammt aus der a-Schicht.
» » 36 » » » b- »
» » 37 » » » c- »

Boden Nr. 9 (Probe Nr. 38).

Moorboden aus »Holtet«, Nesttun bei Bergen. Ein wenig vermoderter, torfiger Moorboden mit Grasvegetation.

Boden Nr. 241 (Probe Nr. 39—40).

Boden aus Grasfeld auf angebautem Moor (Solengen), »Holtet«, Nesttun bei Bergen.

Bodenprofil:

a. 0 — 5 cm schwach vermoderter, brenntorfiger Moorboden.

b. 5 — cm brenntorfiger Moorboden.

Probe Nr. 39 stammt aus der a-Schicht.
» » 40 » » » b- »

Boden Nr. 244 (Probe Nr. 41).

Angebauter Moorboden (Solengen) »Holtet«, Nesttun bei Bergen. (Gleich Boden Nr. 241, aber in stark (anorganisch und organisch) gedüngtem Zustand).

Boden Nr. 248 (Probe Nr. 42).

Unangebauter Moorboden aus dem Kulturfeld für Dauerweide, Myklebust (Barmen), Selje, Nordfjord.

Boden Nr. 255 (Probe Nr. 43).

Zäher, dichter Moorboden aus dem Versuchsfeld Djupedal III, Selje, Nordfjord.

Boden Nr. 245 (Probe Nr. 44).

Weidefeld, eine dünne Bodenschicht auf Felsengrund, aus Apeltun, Fana, in der Nähe von Bergen.

Braungrauer, sandhaltiger, etwas dichter Mullboden.

Vegetation: *Alnus, Juniperus, Ranunculus acer, Viola palustris, V. Riviniana, Potentilla tormentilla, Galium saxatilis, Leontodon autumnalis, Trifolium repens, Rumex acetosa, Plantago lanceolata.*

Boden Nr. 246 (Probe Nr. 45).

Gebirgsfeld, eine dünne Bodenschicht auf Felsengrund, aus Smøraas, Fana, in der Nähe von Bergen.

Grauer, gekörnter, überraschend gut aussehender Mullboden.

Vegetation: *Juniperus, Vaccinium uliginosum, Calluna vulgaris, Potentilla tormentilla, Galium saxatilis, Vaccinium Myrtillus, Viola Riviniana, Vaccinium vitis idaea, Campanula rotundifolia,* Gras.

Die benutzten Analysenmethoden.

In den eingesammelten Bodenproben bestimmen wir Inhalt von kapillärem und hygroskopischem Wasser, Litergewicht von frischem (natürlichem) Boden, trocknen Boden pro 1 frischem Boden, Glühverlust, Asche, Reaktionszahl (pH) und elektrische Leitfähigkeit (in wässerigen Bodenschlämmungen), Oxydierbarkeit, Stickstoff, wasser- und salzsäurelösliche Phosphorsäure, salzsäurelösliches Kalzium und Magnesium der Bodenasche, Eisenhydroxyd-, Aluminiumhydroxyd-, Kieselsäure- und Humussäurekolloide. Bei der Analyse werden folgende Methoden benutzt:

Die eingesammelte Probe wird in einem ölleinernen Beutel ins Laboratorium gebracht, durch ein 2 mm Sieb gesiebt (um Kies etc. grösser als 2 mm zu entfernen) und sorgfältig gemischt. Portionen der gesiebten, frischen Probe werden zur Bestimmung des Litergewichts und des hygroskopischen Wassers benutzt, während das übriggebliebene der Probe bei Zimmertemperatur (18° C) bis zum konstanten Gewicht luftgetrocknet wird. Die luftgetrocknete Probe wird in einem Pulverglas mit Glaspropfen aufbewahrt und dient zur Bestimmung der übrigen, untengenannten Bestandteilen.

Litergewicht des frischen Bodens. In ein Zylinderglas (5 cm Diameter) wird so viel gesiebter, frischer Boden hineingefüllt, bis dessen Volumen 250 ml beträgt, nachdem das Glas gegen die Handfläche, bis zum konstanten Volumen, gestossen worden ist. Danach werden die 250 ml gewogen. Auf diese Weise wird das Litergewicht der Proben Nr. 4—6, 18—29, 32—37 bestimmt. Das Litergewicht der übrigen Bodenproben wird dadurch bestimmt, dass man den Probenstücken passende Würfel entschneidet, und Volumen und Gewicht der Würfel feststellt.

Kapilläres Wasser. Das kapilläre Wasser wird in Gewichtsprozenten des frischen Bodens angegeben und ist die Wassermenge, die pro 100 g frischem Boden durch Lufttrocknen bei Zimmertemperatur (18° C) bis zum konstanten Gewicht abgegeben wird. Das kapilläre Wasser wird in folgender Weise festgestellt: 20 g des frischen Bodens werden in einer Quartzschale abgewogen und bei 110° C bis zum konstanten Gewicht getrocknet. Der Gewichtsverlust gibt die Summe des kapillären und hygroskopischen Wassers pro 20 g frischem Boden an. Das hygroskopische Wasser wird in einer speziellen Probe von luftgetrocknetem Boden bestimmt und nach dieser Bestimmung kann das kapilläre Wasser berechnet werden.

Hygroskopisches Wasser. Das hygroskopische Wasser wird in Gewichtsprozenten von luftgetrocknetem Boden angegeben und ist die Wassermenge, die 100 g

von luftgetrocknetem Boden durch Trocknen bei 110° C bis zum konstanten Gewicht abgeben. Diese Wassermenge wird durch Trocknen von 20 g luftgetrocknetem Boden bei 110° C bis zum konstanten Gewicht festgestellt. Der in dieser Weise getrocknete Boden wird im folgenden als trockner Boden bezeichnet.

Glühverlust. Der Glühverlust gibt den Gewichtsverlust in g von 100 g trocknem Boden d. h. in % an, wenn dieser in einer Quartzschale über der Bunsenflamme geglüht wird. Die Probe von 20 g luftgetrocknetem Boden, die zur Bestimmung des hygroskopischen Wassers benutzt wurde, dient zur Feststellung des Glühverlusts. Nachdem die Probe bei 110° C bis zum konstanten Gewicht getrocknet ist, wird sie über einer Bunsenflamme geglüht. Vermittels des Gewichtsverlusts wird dann der Glühverlust pro 100 g trocknem Boden berechnet.

Asche. Die Asche wird in Gewichtsprozenten von trocknem Boden angegeben und beträgt das Gewicht der übrigbleibenden Stoffe, wenn 100 g von trocknem Boden über der Bunsenflamme geglüht werden. Die Asche wird somit gleichzeitig mit dem Glühverlust festgestellt.

Reaktion. Die Wasserstoffionenkonzentration des Bodens wird elektrometrisch in wässeriger Bodenschlämmung und vermittels der Kinhydron-Elektrode bestimmt. Bei der Bestimmung wird ein einfaches Elektrodengefäss, das früher von Gaarder und Hagem beschrieben worden ist,[2]) benutzt. Dies hat sich für diese Messungen als sehr geeignet erwiesen. Die Wasserstoffionenkonzentration der Bodenschlämmung ist in Tabelle 2 durch ihren entsprechenden pH-Wert (Reaktionszahl) angegeben.

Die Reaktion wird in Aufschlämmungen von luftgetrocknetem Boden bestimmt, indem Mengen respektive *a* 15 g und *b* 25 ml entsprechend, in ein Pulverglas mit Glaspropfen angebracht und 50 ml destilliertes Wasser zugesetzt werden. Sehr humusreichen Böden werden 100 ml Wasser zugesetzt. Die Aufschlämmung wird 1 Stunde im Schüttelapparat geschüttelt, steht dann über Nacht und wird den nächsten Tag 1 Stunde geschüttelt, wonach ihre Reaktionszahl bestimmt wird. Die Messungen zeigen, dass die zwei Serien *a* und *b* Reaktionswerte aufweisen, die gut übereinstimmen oder nur ganz wenig abweichend sind (siehe Tabelle 2, S. 28). Die Reaktionswerte der Serie *a* werden im folgenden benutzt.

Leitfähigkeit. Die elektrische Leitfähigkeit des Bodens wird in wässeriger Aufschlämmung bei 18° C und vermittels der gewöhnlichen Methode mit Wheatstones Brücke und Wechselstrom bestimmt. Die Probe, 15 g luftgetrocknetem Boden entsprechend, wird in ein Pulverglas hineingefüllt und 50 ml von destilliertem, CO_2-freiem Wasser werden zugesetzt. Die Aufschlämmung wird im Schüttelapparat 1 Stunde geschüttelt, steht dann über Nacht, und wird den nächsten Tag 1 Stunde geschüttelt, wonach die Bestimmung der Leitfähigkeit stattfindet. Hierzu wird eine Tauchelektrode »für schlechte Leiter« verwendet. Die Leitfähigkeit der Bodenschlämmung bei 18° C, $\varkappa_{18°}$, ist in 1/(Ohm.cm) angegeben; in der Tabelle S. 29 ist dieser Wert, $\varkappa_{18°}$, mit 10^6 multipliziert.

[2]) Torbjørn Gaarder og Oscar Hagem: Salpetersyredannelse i udyrket jord. II. Nitrifikationens avhængighet av vandstofionkoncentrationen. Meddelelse nr. 11 fra Vestlandets Forstlige Forsøksstation. Bergen 1928.

Phosphorsäure. Die wasserlösliche und salzsäurelösliche Phosphorsäure des Bodens wird kolorimetrisch nach der Methode Denigès bestimmt, so wie diese Methode von M. von Wrangell unter Anwendung von der Modifikation Atkins' beschrieben worden ist.[3—4]) Es werden ausserdem auf einige Massregeln, so wie von Zinzadze und von Bondorff und Steenbjerg besprochen, Rücksicht genommen.[5—6])

Wasserlösliche Phosphorsäure: Luftgetrockneter Boden, 10 g trocknem Boden entsprechend, wird in ein Pulverglas mit Glaspropfen eingewogen und sodann destilliertes Wasser zugesetzt bis die Aufschlämmung im ganzen 100 ml enthält. Um Mikroorganismenwirksamkeit zu verhindern wird 1 ml Toluol zugesetzt. Die Aufschlämmung wird im Laufe von 4 Tagen täglich 1 Stunde geschüttelt, dann durch Membranultrafilter filtriert und im Filtrat wird die Phosphorsäure bestimmt. Die Menge wird als mg PO_4 pro 100 ml Wasser angegeben.

Salzsäurelösliche Phosphorsäure: Die salzsaure Extraktion wird nach Gedroiz[7]) und in Proben, 6 g trocknem Boden entsprechend, vorgenommen. Nach Filtrieren und Auswaschen wird hauptsächlich das Verfahren Zinzadzes benutzt (l. c. S. 175). Eine passende Portion wird bis zur Trockenheit eingedampft, dann vorsichtig geglüht, um organischen Stoff zu entfernen, wonach 6 ml Königswasser zugesetzt werden und die Probe 1 Stunde auf dem Wasserbade zugedeckt steht (wenn nötig wird mehr Königswasser zugesetzt). Es wird sodann bis zur Trockenheit eingedampft und mit 2 ml konzentrierter Salpetersäure abgeraucht. Die Salpetersäure entfernt man durch Aufwärmung auf Drahtnetz mit 1 ml konzentrierter Schwefelsäure, bis weisse Dämpfe entweichen. Das übriggebliebene wird so mit 40 ml destilliertem Wasser unter Eindampfung auf Wasserbad bis zu za. 20 ml Volumen (Minimumzeit 30 Minuten), aufgenommen und danach auf 100 ml Volumen gebracht. Für die kolorimetrische Bestimmung der Phosphorsäure wird eine passende Menge, von 1 bis zu 50 ml variierend, entnommen. Die salzsäurelösliche Phosphorsäure wird als mg PO_4 pro 10 g trocknem Boden und als g PO_4 pro 1 frischem Boden angegeben.

Kalzium und Magnesium. Kalzium und Magnesium werden in dem salzsauren Extrakt der Bodenasche bestimmt. Eine Menge, 5 g trocknem Boden entsprechend, wird in einer Quartzschale über Bunsenbrenner geglüht bis der organische Stoff entfernt ist. Es werden 20 ml 10%-ige Salzsäure zugesetzt und auf Sandbad unter häufigem Umrühren 3—4 Stunden aufgewärmt (kleine Flamme). Um dabei das Verdampfen von Salzsäure zu verhindern, wird die Schale mit einer ein wenig grösseren Schale bedeckt, in welche kaltes Wasser gefüllt wird. Der salzsaure Extrakt wird ohne Filtrierung direkt auf einen 200 ml Messkolben ge-

[3]) M. von Wrangell, Landw. Jahrbücher, 63, 627, 1926.

[4]) W. R. G. Atkins, Journ. of Agr. Science, 14, 192, 1924.

[5]) Sch. R. Zinzadze, Zeitschrift f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, A, 16, 129, 1930.

[6]) K. A. Bondorff og F. Steenbjerg. Tidsskrift for planteavl, København, 38, 273, 1932.

[7]) K. K. Gedroiz: Chemische Bodenanalyse. S. 102. Berlin 1926.

bracht und dieser bis zur Marke gefüllt und geschüttelt. Man wartet bis alle Feinpartikeln sich auf den Boden gesetzt haben und entnimmt dann 100 ml, die an einen 200 ml Messkolben überführt werden. Hier werden Eisen und Aluminium als basisches Azetat gefällt, es wird mit destilliertem Wasser bis zur Marke hinaufgefüllt, geschüttelt und filtriert. I passenden Mengen des Filtrats werden dann Kalzium und Magnesium bestimmt.

Das Kalzium wird als Kalziumoxalat gefällt und in gewöhnlicher Weise durch Titrierung mit 0,02 n $KMnO_4$ bestimmt.

Das Magnesium wird kolorimetrisch vermittels der Methode Kolthoffs[8]) bestimmt.

Die Genauigkeit der Methode wird gesteigert wenn man Proben von 100 ml (und Kolorimeterzylinder) statt Proben von 10 ml benutzt. Das am meisten geeignete und stabile Gebiet der Vergleichsskala liegt zwischen einer Menge 0,5 und 1,5 mg Mg pro 1 entsprechend. Es ist notwendig der Vergleichsskala und den Proben die Reagenzien gleichzeitig zuzusetzen und man muss sich sichern, dass die Reaktion überall dieselbe ist, da die Stärke der Farbe für denselben Inhalt von Mg mit steigendem Reaktionswert zunimmt. Als Kontrolle wird immer die Mg-Menge in verschiedenen Volumen einer Probe festgestellt. Das Kalzium und das Magnesium werden als g Oxyd sowohl pro kg trocknem Boden als pro 1 frischem Boden angegeben.

Anorganische Kolloide. Die Eisenhydroxyd-, Aluminiumhydroxyd- und Kieselsäurekolloide des Bodens werden nach der Methode Tamms bestimmt.[9]) Nachdem die Bodenprobe mit der Extraktionsflüssigkeit geschüttelt worden ist, wird durch ein »Membranultrafilter grob« filtriert. Filtrat + Waschwasser wird bis zur Trockenheit eingedampft, wonach das Residuum geglüht und durch Schmelzen mit Kaliumbisulfat aufgeschlossen wird. Die Schmelze wird in Salzsäure gelöst. Es wird bereits nun Bromwasser zugesetzt (um eventuelles 2-wertiges Eisen in 3-wertiges zu oxydieren) und danach bis zur Trockenheit auf Wasserbad eingedampft, u. s. w.

In der hergestellten Auflösung wird die Kieselsäure gewichtsanalytisch bestimmt, das Eisen nach der Methode Zimmermann - Reinhardts in Ferroion überführt und mit Permanganat titriert, und Eisen + Aluminium werden als basische Azetate gefällt, wonach das Aluminium pro Differenz bestimmt wird.

Es werden immer zwei 3 g-Portionen jeder Bodenprobe analysiert. Sofern diese gut übereinstimmende Resultate aufweisen sollen, ist es absolut nötig die trockene Bodenprobe sehr sorgfältig und gleichartig zu mischen. Die beste Durchschnittsprobe erhält man durch das einmalige Entnehmen von za. 3 g in einer Portion; wird nämlich der erst entnommenen Portion etwas entnommen oder zugefügt, kann das charakteristische Verhältnis zwischen den verschieden grossen Partikeln der Probe leicht verschoben werden.

---

[8]) I. M. Kolthoff, Chemische Weekblad, 24, 254, 1927.

[9]) O. Tamm, Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt, Stockholm. H. 19, 385, 1922 und H. 27, 1, 1932—34.

Der Inhalt des Bodens von anorganischen Kolloiden wird als g Fe_2O_3, als g Al_2O_3 und als g SiO_2 pro kg trocknem Boden angegeben.

Humuskolloide. Die Humuskolloide der Bodenprobe werden sowohl kolorimetrisch als oxydimetrisch in einem Extrakt mit 10 %-iger Natronlauge bestimmt. Die kolorimetrische Bestimmung wird nach Odén,[10]) die oxydimetrische durch Oxydation vermittels Kaliumpermanganat in saurer Lösung vorgenommen.

Die kolorimetrische Methode: Die Methode beruht auf der Überführung des Humus der Bodenprobe in Na-Humat, das in passender Verdünnung mit einem Na-Humatstandard verglichen wird, der aus einem »Acidum huminicum«-Präparat (Merck) hergestellt ist. Je nach dem Glühverlust des Bodens d. h. seinem wechselnden Inhalt von organischem Stoff, werden von 0,5 bis 15 g trockner Boden und 50 ml 10 %-ige Natronlauge in einem Erlenmeyerkolben in genau 10 Minuten gekocht (Stopfuhr). Um merkbares Verdampfen während des Kochens zu entgehen, wird ein dicht schliessender Trichter im Kolbenhalse angebracht und im Trichter eine Porzellanschale; diese wird mit kaltem Wasser gefüllt, das vorteilhaft ein paarmal erneuert wird.

Nach Filtrierung werden 40 Volumen-% des Filtrats mit Wasser bis zu 200 ml verdünnt. Aus dieser Lösung, Lösung A, werden so viele ml entnommen, als gerade nötig ist um mit Wasser eine 150 ml Lösung von ungefähr derselben Farbstärke als die der benutzten 150 ml Standard-Lösung zu geben.

Die Standard-Lösung wird aus einem »Acidum huminicum«-Präparat hergestellt. 0,400 g des Präparats werden 50 ml 10 %-ige Natronlauge zugesetzt und darauf genau 10 Minuten gekocht. Nach Filtrierung und Auswaschen wird mit Wasser bis zu 1 l verdünnt. 10 ml von dieser Lösung werden mit Wasser bis zu 150 ml verdünnt und als Standard-Lösung benutzt. Bei dem Farbenvergleich werden Hehner-Zylinder benutzt. Der Humusinhalt der Bodenprobe wird in dieser Weise als »Acidum huminicum« d. h. Humussäure und in g pro kg trocknem Boden berechnet, festgestellt. Der Austauschäquivalent der Humussäure beträgt nach Odén 2,994 und nach Mattson[11]) 2,857 d. h. za. 3 Milli-Äquivalente pro g Humussäure.

Die oxydimetrische Methode: Die oxydimetrische Analyse wird hauptsächlich nach der Methode Kubel-Tiemanns ausgeführt. Je nach der Farbstärke der obengenannten Lösung A, wird dieser eine Probe von za. 1 bis zu 10 ml entnommen, zu welcher Wasser, Überschuss von Schwefelsäure (10 ml 1 : 3) und 50 ml 0,02 n Permanganat gesetzt werden, bis das Gesamtvolum 150 ml beträgt. Die schwefelsaure Lösung wird genau 10 Minuten gekocht. Eine reichliche Portion unverbrauchten Permanganats muss nach dem Kochen übrig sein. Das unverbrauchte Permanganat wird durch Zusatz von einem bekannten Volumen 0,02 n Oxalsäure entfernt und Überschuss von Oxalsäure durch Titrierung mit 0,02 n Permanganat festgestellt. Die so bestimmte Oxydierbarkeit des Bodens wird als Verbrauch von ml 0,01 n $KMnO_4$ pro g trocknem Boden angegeben. Übereinstimmende Parallelversuche und

[10]) S. Odén: Die Huminsäuren. S. 133.] Dresden u. Leipzig 1922.
[11]) Sante Mattson, Soil Science XXXI, 59, 1931.

vergleichbare Resultate werden erhalten, wenn die Analyse für alle Bodenproben so weit möglich gleichartig ausgeführt wird. Man muss sich demnach so einrichten, dass der Permanganatverbrauch für alle die — aus den Lösungen A der verschiedenen Bodenproben — entnommenen Proben bei dem Oxydationsprozess so ungefähr der gleiche ist.

Stickstoffinhalt. Der Stickstoffinhalt des Bodens wird durch die Methode K j e l d a h l s in gewöhnlicher Weise bestimmt, und wird sowohl in % von trocknem Boden als in % von organischem Stoff des Bodens angegeben.

Die Analysenresultate.

Die Tabellen 2—16 und die Figuren 7—34 geben das Resultat der ausgeführten Untersuchungen an.

Diskussion.

Reaktionsverhältnisse.

Die nachgewiesenen Reaktionszahlen oder pH-Werte sind in Tabelle 2 S. 28 angegeben.

Die Reaktionszahl des oberen Bodenhorizonts (der A_1-Schicht) zeigt bei Laubwald- und Laub-Nadelwaldböden (den Proben Nr. 3, 4, 7, 8, 10) den Durchschnittswert 4,64. Die Einzelwerte schwanken von 4,2 (Kiefer-Birkenwald) bis zu 5,6 (Erlenwald). Bei Nadelwaldböden (den Proben Nr. 13, 14) beträgt die Reaktionszahl respektive 3,9 und 4,1 oder im Durchschnitt 4,0. Bei Heideböden (den Proben Nr. 18, 22, 26, 30, 31, 32, 35) zeigt die Reaktionszahl den Durchschnittswert 4,24 und die Einzelwerte schwanken von 3,9 (Nr. 31) bis 4,9 (Nr. 35), beide Werte gelten Proben typischer Heideböden. Dies Wechseln muss freilich dem grossen Unterschied des Inhalts der Heideböden von minerogenen Bestandteilen zugeschrieben werden, indem ein reicher Mineralinhalt (pro trocknem Boden berechnet) eine relativ hohe Reaktionszahl zu bedingen scheint. Bei Moorböden (den Proben Nr. 38, 39, 42, 43) zeigt die Reaktionszahl den Durchschnittswert 4,08 (abgesehen von der Probe Nr. 41, die stark gedüngt ist und den Wert 5,36 zeigt). Die Einzelwerte wechseln zwischen 3,6 und 4,4. Bei Gebirgsweide- und Weideböden (von jedem gibt es nur eine einzelne Probe, Nr. 44 und Nr. 45) sind die Reaktionszahlen respektive 4,74 und 4,54 oder im Durchschnitt 4,6.

In dem A-Horizont der untersuchten Bodentypen wird somit der grösste Reaktionswert bei reinen Laubwaldböden (Birke, Erle), aber auch bei Weide- und Gebirgsweideböden und gelegentlich bei Heideböden (Nr. 32 und 35) angetroffen. Bei gemischten Laubwald- und Laub-Nadelwaldböden liegt die Reaktionszahl im allgemeinen ein wenig niedriger. Bei Heide-, Nadelwald- und Moorböden ist sie durchschnittlich am niedrigsten. Der niedrigste Wert (3,6) kommt in einem Moorboden (Nr. 42) vor.

Es ist von Interesse zu konstatieren, dass von den untersuchten Heideböden diejenigen mit hohem Mineralinhalt im allgemeinen eine grössere Reaktionszahl als diejenigen mit geringem Inhalt aufweisen. Die Zusammenstellung in der Tabelle 3 zeigt dies sehr charakteristisch:

Tabelle 2.

Probe Nr.	Boden Nr.	Frischer Boden			Trockner Boden			pH		Kol in g pro kg trock	
		Liter-gewicht g	Kapilläres Wasser %	Hygro-skopisches Wasser %	g pro l frischem Boden	Glüh-verlust %	Asche %	15 g von trock-nem Boden + 50 ml H_2O	25 ml von trock-nem Boden + 50 ml H_2O	Fe_2O_3	Al_2O_3
3	8	775			391	19.50	80.50	4.18		17.2	24.2
4	1 b			2.87	625	12.38	87.62	5.60	5.60	4.7	6.2
5	c			1.76	735	4.74	95 26	5.02	4.88	11.6	9.6
6	d			1.52	760	4·01	95.99	4.97	4.88	10.6	10.5
7	239	988	29.5	3.81	663	17.73	82.27	4.92	4.90	17.3	8.7
8	240 a	596	52.2	6.09	268	21.36	79.64	4.21	4.39	16.1	4.7
9	b	1172	38.3	3.31	686	13.91	86.09	4.60	4.49	23.0	6.7
10	243 a	760	16.0	6.05	600	24.15	75.85	4 27	4.27	14.8	5.4
11	b	872	13.8	4.32	720	14.54	85 46	4.39	4.39	19.7	8.2
12	c	936	11.0	5.96	988	10.75	89.25	4.58	4.53	35.0	15.4
13	238	456	52.2	11.57	193	82.13	7.87	3.90	3.90	3.1	3.8
14	247 a	520	69 6	15.00	139	80.46	19.54	4.10	4.09	4.6	5.1
15	b	1000	36 2	5.55	603	17.75	82.25	4.09	4.05	22.6	8.6
16	c	1050	35.4	5.72	641	13.28	86.72	4.35	4.35	33.0	13.3
17	d	1012	36.2	6 47	606	15.50	84.50	4 35	4.32	25.7	14.4
18	2 b	624	63.3	10.87	205	61.27	38.73	3.90	3.95	6.4	2.1
19	c	920	25.5	1.88	674	10.14	89.86	4.10	4.07	17.4	3.5
20	d	1180	14.6	2.30	984	4 24	95.76	5.17	5.12	17.2	23.0
21	e	1248	14.4	1.73	1050	2.73	97.27	5.32	5.36	18.7	20.2
22	3 b	672	66.8	17.56	185	72.36	27.64	3.90	4.04	3.9	5.6
23	c	1016	23 2	1.58	769	7.85	92.15	4.10	4.05	8.1	3.7
24	e	908	35.1	4.49	563	13.21	86.79	4.92	4.92	37.3	32.2
25	f	1288	10.8	1.64	1128	2.97	97.03	4.92	4.92	15.5	18.0
26	4 b	604	73.3	11.00	144	91.83	8.17	4.00	4.00	1.8	3.5
27	c	1020	19.1	0.92	817	5.54	94.46	4.10	4.10	1.0	2.3
28	d	1176	21.4	2.63	900	7.56	92.44	4.95	4.92	29.6	17.1
29	e	1344	9.5	1.23	1201	2 99	97.01	5.09	5.09	15.5	15.6
30	226	1100	49.7	8.69	506	41.13	58.87	4.40	4.35	20.1	8.4
31	256			11.65		[75.61]	[24.39]	3.88		2.3	2.9
32	5 a	1221	40.7	12.74	632	36.67	63.33	4.70	4.70	21.5	14.8
33	b	980	43.5	11,52	490	22.35	77.65	5.06	5.00	35.4	26.6
34	c	1060	40.9	8.03	546	22.26	77.74	5.28	5.27	40.2	42.3
35	6 a	1150	42.0	4.23	524	23.30	76.70	4.87	4.82	17.4	13.4
36	b	1040	40.7	3.66	490	16.86	83.14	4 92	4 94	18.1	14.7
37	c	1156	41.8	2 99	538	12.80	87.20	4.99	4.98	25.5	21.3
38	9	560			206	77.30	22.70	4.40		9.5	9.3
39	241 a			15.45	280	86.10	13.90	4.10	4.37	6.9	5.6
40	b	1120	73.0	15.92	255	95.05	4.95	3 83	3.90	3.0	4.3
41*	244	568	56.6	13.04	215	64.78	35.22	5.36	5.40	7.9	16.2
42	248	1000	79.2	13.77	180	91.36	8.64	3.57	3.62	2.7	2.3
43*	255			14.65		87.46	12.54	4.18	4.30	8.1	8.2
44*	245	1252			668	21.26	80.74	4.73	4.76	42.7	20.8
45	246	816	30.2	11.10	506	30,29	69.71	4.50	4.54	54.4	24.7

* Gedüngt.

loide nem Boden		Oxydierbarkeit Verbrauch von ml 0.01 n $KMnO_4$ pro g trocknem Boden	Gesamtstickstoff		$\varkappa_{18°} \cdot 10^6$	HCl-lösliche Phosphorsäure		HCl-lösliches Kalzium der Bodenasche		HCl-lösliches Magnesium der Bodenasche	
SiO_2	Humus		in % von trocknem Boden	in % von organischem Stoff		mg PO_4 pro 10 g von trocknem Boden	g PO_4 pro l frischem Boden	g CaO pro kg von trocknem Boden	g CaO pro l frischem Boden	g MgO pro kg von trocknem Boden	g MgO pro l frischem Boden
1.15	56.0		0.584	3.00	724.0	6.32	0.246	2.23	0.87	5.18	2.02
0.25	67.27	1193.3	0.419	3.38	100.0	9.74	0.608	3.97	2.49	3.78	2.36
1.07	24.22	239.21	0.100	2.11	39.4	10.96	0.806	7.84	5.76	13.97	10.27
1.58	13.17	189.76	0.063	1.57	57.8	16.08	1.221	7.64	5.78	13.05	10.09
0.38	70.73	958.6	0.557	3.14	108.0	10.09	0 668	3.88	2.57		
0.61	122.41	1787.8	0.879	4.11		16.52	0.442	4.95	1.33	6.14	1.65
0.41	44.16	743.4	0.499	3.60	96.2	7.80	0.535	1.19	0.82	3.77	2.58
0.46	116.8	1549.2	0.783	3.23	136.0	14.60	0.876	1.54	0.93	1.32	0.79
0.38	66.45		0.478	3.29	88.0	10.70	0.770	0.82	0.59	1.24	0.86
0.61	49.96	461.5	0.283	2.63	38.0	8.57	0.846	0.80	0.79	7.80	7.70
3.43	361.3	4013.7	1.840	2.24	262.0	35.00	0.673	4.04	0.78	5.59	1.08
0.36	418.17	4191.0	1.722	2.14		14.60	0.215	6.35	0.88	2.97	0.41
0.75	90.03	1138.4	0.568	3.20	100.5	16.55	1.00	1.52	0.92	2.57	1.55
0.44	117.86	682.2	0.331	2.5	49.0	16.55	1.060	2.70	1.73	2.77	1.77
1.24	69.25	956.9	0.561	3.62	85.9	16.55	1.005	2.38	1.44	5.02	3.04
0.45	277.5	3453.6	1.10	1.78		30.40	0.610	2.08	0.43	1.43	0.29
0.87	53.5	729.5	0.213	2.10	74.0	7.99	0.539	0.76	0.51	0.78	0.52
4.75	6.64	80.90	0.061	1.44	46.3	14.61	1.440	2.32	2.28	3.63	3.57
5.4	4.52	66.03	0.038	1.39	30.8	10.72	1.125	1.08	1.13	0.69	0.73
0.36	490.4	4523.8	2.032	2.81		23.40	0.433	3.56	0.66	2.30	0.43
0.27	57.46	522.63	0.256	3.26	59.0	4.67	0.359	1.87	1.44	3.74	2.88
1.27	65.07	588.63	0.271	2.06	53.4	12.90	0.725	1.61	0.91	1.73	0.97
4.4	13.02	108.70	0.047	1.58	54.4	14.45	1.630	3.38	3.81	3.67	4.14
0.58	682.5	4961.0	2.140	2.34	364.0	13.20	0.190	3.39	0.49	2.70	0.39
0.21	25.72	191.83	0.084	1.51	46.3	2.01	0.164	4.18	3.41	0.26	0.21
2.34	54.35	582.1	0.099	1.32	37.8	10.10	0.910	2.35	2.11	4.05	3.64
2.62	10.10	152.3	0.034	1.13	28.6	15.25	1.830	4.66	5.59	5.56	6.67
0.66	259.46	2953.0	1.191	2.90	1278.0	14.00	0.708	1.11	0.56	0.90	0.46
0.12	683.4	5224.4	1.590	2.10	203.0	17.75		2.19		1.80	
0.36	252.73	2724.0	0.922	2.51	119.0	23.3	1.471	4.00	2.53	6.35	4.01
0.81	165.40	1946.4	0.489	2.19	62.6	17.5	0.859	1.83	0.90	4.83	2.37
1.56	137.70	1014.8	0.433	1.94	42.7	18.7	1.021	3.08	1.68	7.09	3.86
0.54	150.87	1697.2	0.627	2.69	78.6	9.7	0 507	2.29	1.20	4.98	2.62
0.35	121.46	897.0	0.397	2.36	65.2	8.9	0.436	2.24	1.10	5.95	2.92
0.42	94.24	592.7	0.229	1.79	55.4	8.8	0.474	1.92	1.03	5.91	3.18
0.3	498.0		2.19	2.83	795.0	43.75	0.902	1.97	0 40	0.90	0.19
0.45	490.1		2 687	3.11	297.0	58.40	1.630	3.70	1.03	2.34	0.66
0.43	697.1	5891.2	2.278	2.40	169.0	25.30	0.646	2.61	0.67		
1.09	639.4	5622.3	1.824	2.81		[93.40]	[2.01]	[20.57]	[4.43]	[4.27]	[0.92]
0.75	531.79	4846.0	1.337	1.46		18.70	0.337	3.06	0.55	3.77	0.68
0.17	609.77	5403.0	2.237	2.56	447.0	[32.4]		[2.09]		[0.77]	
5.13	84.57	1547.0	0.802	3.82	82.3	[54.40]	[3.630]	[11.29]	[7.53]	[14.10]	[9.42]
0.988	156.8	1691.3	0.801	2.64	185.2	13.60	0.688	2.98	1.51	3.31	1.68

Tabelle 3. Heideböden.

Probe Nr.	26	31	22	18	30	32	35
Boden Nr.	4	256	3	2	226	5	6
Asche in % von trocknem Boden	8,2	24,4	27,6	38,7	58,9	63,3	76,7
Reaktionszahl	4,0	3,9	3,9	3,9	4,4	4,7	4,9

Ein mineralreicher Heideboden ist somit selbst in Westnorwegen mit seinem reichen Niederschlag und umfassenden Vorkommen von Urgebirge der Destruktion und der Rohhumusbildung augenscheinlich weniger ausgesetzt als ein mineralarmer. Vielleicht ist eben dies Verhältnis ein wichtiger Faktor, der die Bildung von ausgeprägten Podsoltypen in Westnorwegen entgegenwirkt. Das Wechseln der Reaktionszahl und des Kolloidinhalts, je nachdem man von der Oberfläche gegen den Untergrund hinab dringt, scheint auch dies Annehmen zu stützen (vergleiche S. 40). Es ist doch nicht möglich gewesen bei jedem einzelnen Bodentypus mehrere Schichten zu untersuchen, da der Bodentypus im allgemeinen entweder zu gleichartig oder die Tiefe zu gering waren. Nur bei den Böden Nr. 1, 240, 243, 247, 2, 3, 4, 5 und 6 gibt es die Gelegenheit, das Wechseln der Reaktionszahl durch die verschiedenen Horizonte hinab festzustellen. Die nachgewiesenen Werte sind in der Tabelle 4 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Reaktionszahl im allgemeinen steigt, wenn man von dem A-Horizont in die B- und C-Horizonte hinablangt. Boden Nr. 1, der in der obersten Schicht vermutlich Schiefer eingemischt enthält, bildet doch hier eine Ausnahme.

Tabelle 4. pH-Wert der untersuchten Bodenprofile.

Horizont	Boden Nr.								
	1	240	243	247	2	3	4	5	6
A_1	5,6	4,21	4,27	4,1	3,9	3,90	4,0	4,70	4,87
A_2					4,10	4,10	4,10	5,06	4,92
B_0	5,02	4,60	4,39	4,35	5,17	4,92	4,95	5,28	4,99
B_1									
B_2			4,58						
C	4,97				5,32	4,92			

Laub- und Nadelwaldböden (Nr. 1, 240, 243, 247) sind durchschnittlich bis zu za. 20 cm Tiefe hinab untersucht worden, Heideböden (Nr. 2, 3, 4, 5, 6) bis zu za. 50 cm. Beim Betrachten dieser letzten Proben sieht man, dass, wo es im A_1-Horizonte einen grossen Mineralinhalt gibt (Nr. 5 und 6), da ist der Reaktionsgradient zwischen dem A- und B-Horizont verhältnismässig klein im Vergleich mit den Proben, wo der Mineralinhalt des A_1-Horizonts verhältnismässig gering ist (Nr. 2, 3, 4), d. h. die Podsolierung verläuft in den letzteren weit mehr umfassend (siehe auch S. 40).

Betrachtet man die Reaktionszahl[12]) der untersuchten Bodenproben im Verhältnis zu deren Inhalt von Humuskolloiden, so kann eine gewisse Verbindung

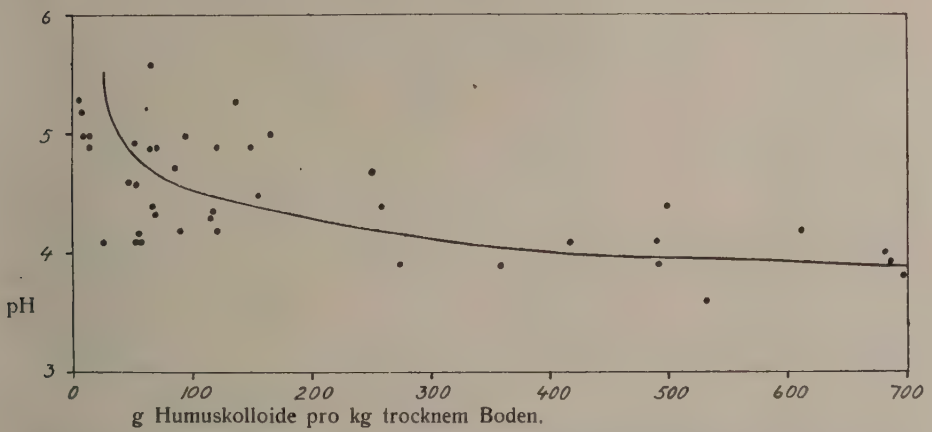


Fig. 7. Die Verbindung zwischen der Reaktion und dem Humuskolloid-Inhalt des Bodens.
(Forbindelsen mellem jordens reaksjon og humuskolloidinnhold).

konstatiert werden, indem steigender Inhalt von Humuskolloiden durchgehend von einem Abnehmen der Reaktionszahl begleitet wird (siehe Tabelle 2 und Fig. 7). Wenn somit mehr als 300 g Humuskolloide pro kg trocknem Boden vorkommen, dann liegt die Reaktionszahl im allgemeinen unter oder in der Nähe von 4; wenn aber weniger als 300 g vorhanden sind, dann liegt die Reaktionszahl im allgemeinen zwischen 4 und 5 und nur bei wenigen der Bodenproben gelangt sie über 5. Nun sind es ja nicht nur die Humuskolloide, die auf die Reaktionszahl des Bodens einwirken, sowohl seine ionendispersen als seine kolloiddispersen Bestandteile werden alle ihren Einfluss ausüben können. In dem humiden Klima Westnorwegens werden aber die ionendispersen Bestandteile einem starken Auswaschen ausgesetzt. Man kann somit erwarten, dass die Reaktionsverhältnisse des Bodens hier von seinem Inhalt von Azidoiden (Humus- und Kieselsäure) und Basoiden (Sesqui-

[12]) Es wird hier und im folgenden von der Probe Nr. 41 (Boden Nr. 244) abgesehen, da diese sich gedüngt zeigte.

oxyden) hauptsächlich geprägt werden, und dies in der Weise, dass je mehr die Azidoide im Verhältnis zu den Basoiden in Übergewicht vorkommen, desto niedriger wird die Reaktionszahl. Dass dies der Fall ist, geht aus Fig. 8 hervor. Das Resultat stimmt somit in seinen Hauptzügen mit der Auffassung überein, die Sante Mattson in den letzteren Jahren geltend gemacht hat.[13])

Fig. 8 zeigt, dass die Reaktionszahl des Bodens niedrig und durchgehend unter 4,0 liegt, so lange ein grosser Überschuss von Azidoiden vorhanden ist.

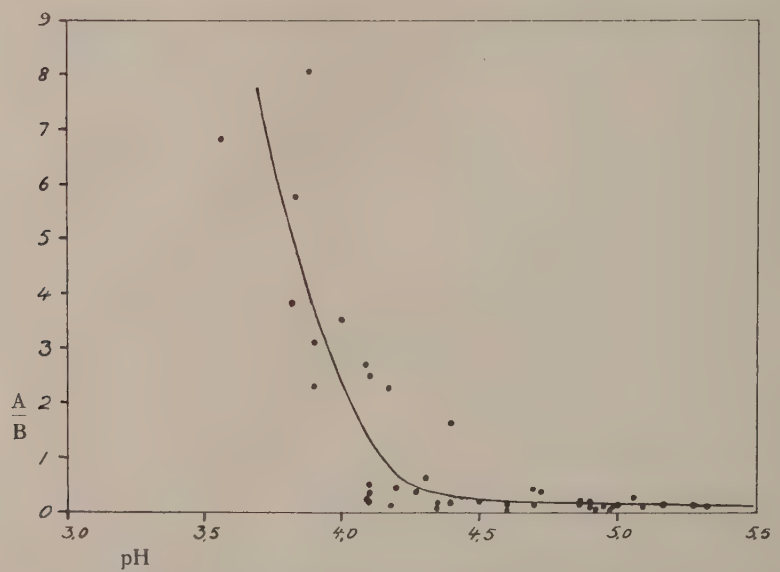


Fig. 8. Die Verbindung zwischen der Reaktion des Bodens und dem Verhältnis zwischen seinen Azidoiden, A, und Basoiden, B (wenn diese in mg-Äquiv. pro kg trocknem Boden angegeben sind).
(Forbindelsen mellem jordens reaksjon og forholdet mellem dens acidoider, A, og basoider, B, (når disse angis i mg-ekv. pr. kg tørr jord)).

Sobald es von den Azidoiden im Verhältnis zu den Basoiden (beide in mg-Äquiv. angegeben) nur ungefähr die doppelte Menge gibt, steigt die Reaktionszahl über za. 4, gelangt aber im allgemeinen nicht über 4,5 ehe das Verhältnis zwischen Azidoiden und Basoiden niedriger als za. 0,4 gesunken ist. In allen Bodenproben mit einer Reaktionszahl, einem pH, grösser als 4,8, ist somit das Verhältnis zwischen Azidoiden und Basoiden gleich oder kleiner als 0,3. (Es wird hier fortwährend von der Probe Nr. 41 (Boden Nr. 244) abgesehen, die aus gedüngtem Boden stammt).

Es ist sehr charakteristisch, dass alle die Bodenproben, die dem Wasser ihrer wässerigen Aufschlämmung nachweisbare Mengen von Phosphorsäure abgeben, gerade Bodentypen mit einer Reaktionszahl $\geq$ 4,5 sind (siehe Tab. 13), d. h.

[13]) Sante Mattson, Soil Science XXXIV, 227, 1932.

diese Bodentypen besitzen alle einen mehr oder weniger bedeutenden Inhalt von Azidoiden. Die Azidoide haben somit hier die Gelegenheit, die im Erdboden vorhandenen Basoide so zu binden d. h. desaktivieren, dass die Bodenphosphorsäure merkbar gelöst werden kann. Ausserdem dass die Azidoide die Reaktionszahl herunterdrücken, ermöglichen sie somit Freimachung der Bodenphosphorsäure.

Auch zwischen der Reaktionszahl und der Leitfähigkeit der wässerigen Bodenschlämmung kann eine gewisse Verbindung gespürt werden. Fig. 9 gibt hier eine graphische Übersicht. (Die Böden Nr. 226 und Nr. 248 sind nicht eingezeichnet, indem ihre Leitfähigkeit entschieden mehr als 1000.10^{-6} beträgt). In der Regel haben somit wässerige Bodenschlämmungen mit einer Reaktionszahl $> 4{,}2$ eine Leitfähigkeit geringer als 120.10^{-6}; ist aber die Reaktionszahl $< 4{,}2$,

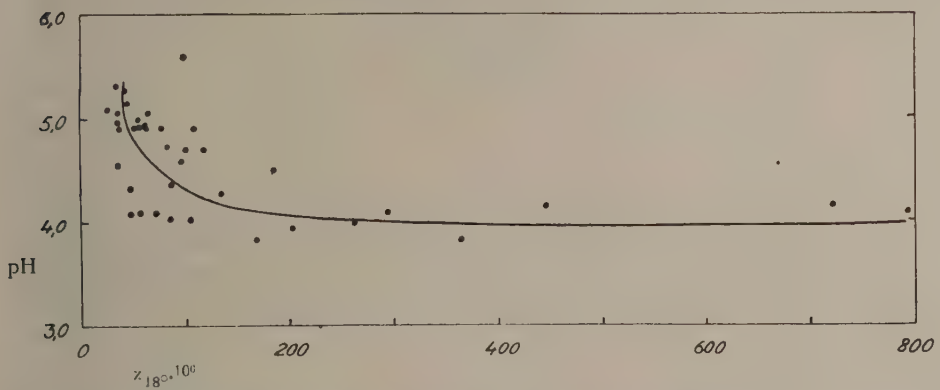


Fig. 9. Die Verbindung zwischen der Reaktion und der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens.
(Forbindelsen mellem jordens reaksjon og elektriske ledningsevne).

so wird die Leitfähigkeit oft bedeutend grösser sein und in mehreren Fällen kann sie relativ ziemlich grosse Werte erreichen. Die Figuren 9 und 7 zeigen, dass die Leitfähigkeit und der Humuskolloidinhalt in einigermassen übereinstimmendem Grade mit abnehmender Reaktionszahl zunehmen. Die Humuskolloide sind ja Azidoide und sie vermögen somit, und dann besonders als Saloide, die Leitfähigkeit zu befördern.

Anorganische und organische Kolloide.

Glühverlust, Oxydierbarkeit und Humuskolloidinhalt können allein dem Zwecke dienen, eine Orientierung mit Hinblick auf den Inhalt des Bodens von organischem Stoff zu geben. Betrachtet man das vorliegende Analysenmaterial (Tab. 2), so geht hervor, dass eine deutliche Übereinstimmung zwischen den Schwankungen der obengenannten Grössen herrscht, indem steigende Oxydierbarkeit durchgehend von steigendem Glühverlust und steigendem Humuskolloidinhalt begleitet wird. Dies geht aus den Figuren 10 und 11 hervor, wo die Verbindung zwischen Oxydier-

barkeit und Humuskolloidinhalt (Fig. 10) respektive Glühverlust (Fig. 11) der untersuchten Bodenproben graphisch dargestellt ist.

Zwischen Glühverlust und Oxydierbarkeit herrscht eine merkbare Proportionalität, und annähernd richtig besitzt 1 g von trocknem organischen Stoff des

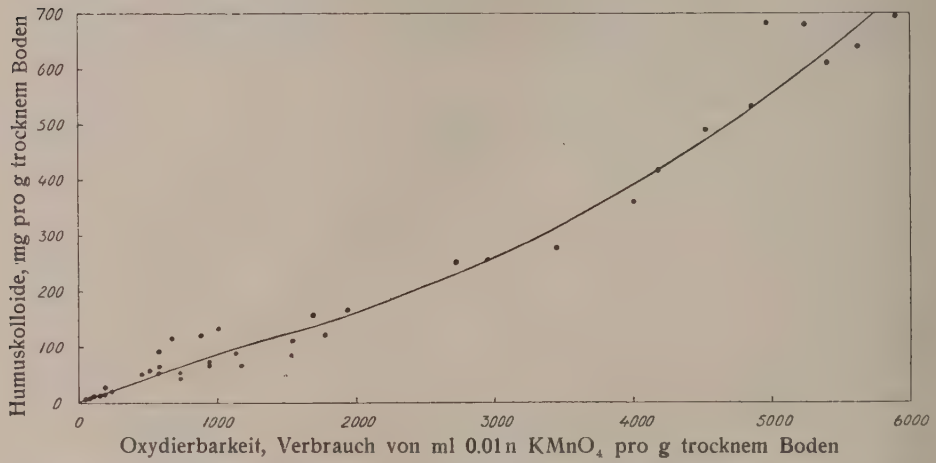


Fig. 10. Die Verbindung zwischen der Oxydierbarkeit und dem Humuskolloid-Inhalt des Bodens.
(Forbindelsen m llem jordens oksyderbarhet og humuskolloidinnhold).

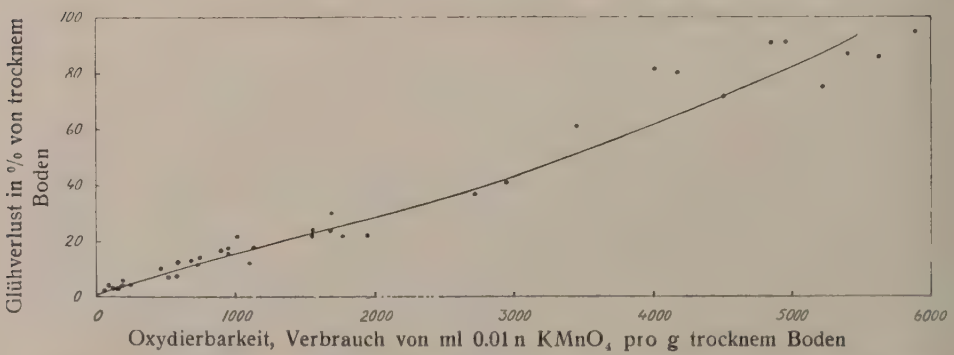


Fig. 11. Die Verbindung zwischen der Oxydierbarkeit und dem Glühverlust des Bodens.
(Forbindelsen mellem jordens oksyderbarhet og glødetap).

Bodens Westnorwegens eine Oxydierbarkeit von za. 60 ml 1 n $KMnO_4$ (siehe Fig. 11). Der Glühverlust steigt indessen etwas stärker als die Oxydierbarkeit, d. h. wenn die Verbindung zwischen Glühverlust und Oxydierbarkeit in Fig. 11 durch eine Kurve angegeben wird, dann krümmt diese sich schwach aufwärts. Mit steigender Menge von organischem Stoff wird somit auch die Menge von schwer oxydierbaren Stoffen relativ gesteigert. Diese Stoffe lassen sich vielleicht besser durch

die kolorimetrische Methode, d. h. als Humuskolloide bestimmen, denn wie aus Fig. 10 hervorgeht, hat die Kurve, die die Verbindung zwischen den Humuskolloiden des Bodens und dessen Oxydierbarkeit angibt, gleichfalls eine Krümmung aufwärts, und diese Krümmung ist von einigermassen entsprechender Stärke. Es scheint somit als ob der Glühverlust eines Bodens und dessen Inhalt von kolorimetrisch bestimmtem Humus einigermassen proportional wechseln (siehe Fig. 12).

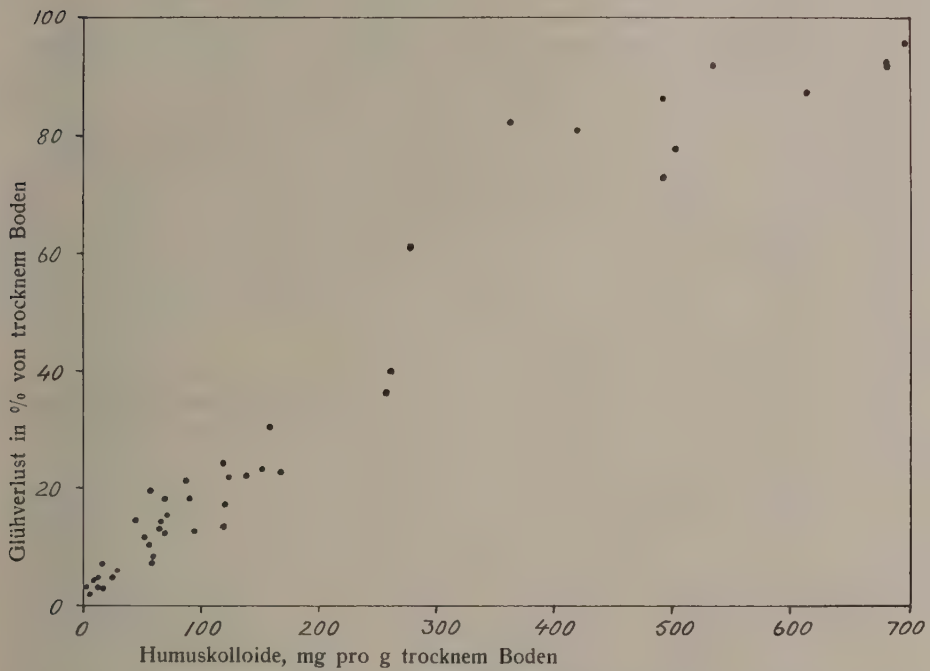


Fig. 12. Die Verbindung zwischen dem Glühverlust und dem Humuskolloid-Inhalt des Bodens.
(Forbindelsen mellem jordens glødetap og humuskolloidinnhold).

Für das Feststellen des Inhalts eines Bodens von organischem Stoff eignen sich somit der Glühverlust und die Farbe des Na-Humats freilich besser als Mass als der Permanganatverbrauch, sofern der Boden an organischem Stoff reich ist d. h. relativ bedeutendes von schwer oxydierbaren Verbindungen enthält.

In Westnorwegen sind die minerogenen Bestandteile des Bodens im allgemeinen Moränenmaterial, das in der Regel weite Strecken transportiert worden ist ehe es abgelagert und hinterlassen wurde, und das Podsolprofil ist das am meisten charakteristische Bodenprofil. Bei der Entwicklung eines Podsolprofils sind, wie bekannt, mehrere Faktoren beteiligt, und dann besonders der Bodentypus, der Niederschlag, die Temperatur, das Gelände, die Vegetation und die Zeit. Die

Gebirge Westnorwegens bestehen hauptsächlich aus Urgebirge (Granitt), das ja ein sehr basenarmes Untergrundmaterial bildet. Die Humusstoffe haben deshalb geringe Gelegenheit, Basen (Kationen) zu adsorbieren, sie werden sauer und nur mit Schwierigkeit niedergebrochen. Die Verbreitung von Heide und Moos und die Bildung von Heideböden und Moosmoor werden dadurch erleichtert, denn diese Gewächse können sich mit einem an Nahrungsstoffen (besonders an Ca) armen Boden begnügen. In den Bodenprofilen Westnorwegens folgt im allgemeinen der rostbraune B-Horizont gleich unter der Humusschicht (dem A-Horizont), und nur gelegentlich sieht man hier die deutliche Bildung einer Bleicherdeschicht (eines A_2-Horizonts). Die Andeutung einer solchen Bildung muss somit im allgemeinen durch die braune-schwarze Farbe der Humusschicht (des A-Horizonts) verhüllt sein. An und für sich ist es ja auffallend, dass in dem niederschlagreichen Westnorwegen mit einem Boden arm an basereichen minerogenen Bestandteilen und seinen weiten Arealen von sauren Heide- und Moorböden ausgeprägte und allgemein vorkommende Bleicherdeschichten fehlen. Der Boden ist freilich in Norwegen von relativ jungem Alter und man kann sich somit denken, dass es der Zeitfaktor ist, der hier die Verhältnisse prägt. In Ostnorwegen kommen aber gut entwickelte und ziemlich mächtige Bleicherdebildungen vor, und auch in Westnorwegen können solche nachgewiesen werden. Wir wollen deshalb später auf diese Frage zurückkommen (siehe S. 40—46).

Die Bildung eines Podsolbodens rührt bekanntlich von Degeneration oder Destruktion des Bodens her. In Mullböden und Braunerden sind die anorganischen Kolloide in allen Horizonten einigermassen gleichmässig verteilt. Die Podsolierung beginnt damit diese gleichmässige Verteilung zu verschieben: Die anorganischen Kolloide werden in Solzustand überführt und danach von dem A-Horizonte weggeführt um im B-Horizonte angereichert zu werden. Dies rührt von einer mangelhaften Kationen-Reserve des A-Horizonts her (es fehlt diesem besonders an Ca) und in dem Falle geht der gesättigte Humus allmählich mehr und mehr in sauren Humus über, indem ein Auslaugen der ionendispersen Bestandteile stattfindet. Früher oder später folgt nach diesem Prozess eine Feindispergierung der Bodenkolloide und diese beginnen als Sole niedergeschlämmt zu werden, d. h. der Boden wird destruiert. Während also das Auslaugen dem Boden nur gewisse ionendisperse Bestandteile beraubt, bewirken die Solbildung und die Niederschlämmung der Sole eine Destruktion des Bodens. In Westnorwegen, wo der Niederschlag reich, die Mitteltemperatur niedrig und der Untergrund in der Regel Urgebirge ist, wird dies für den Boden verhängnisvoll: Der Boden wird reich an saurem Humus. Hier ist es somit von fundamentaler Bedeutung, dass man diese Destruktion entgegenwirkt oder verhindert, und dies wird gewiss nur durch eine rationelle und reichliche Kalkzufuhr erreicht.

Sofern die Podsolierung eines Bodens nur schwach verlaufen ist, ist es dem blossen Auge unmöglich zu konstatieren, welchen Umfang sie erreicht hat. In dem Falle müssen chemische Methoden benutzt werden um zu konstatieren, wie die Kolloide sich durch die Bodenschichten hinab verteilt haben. Wir benutzen also

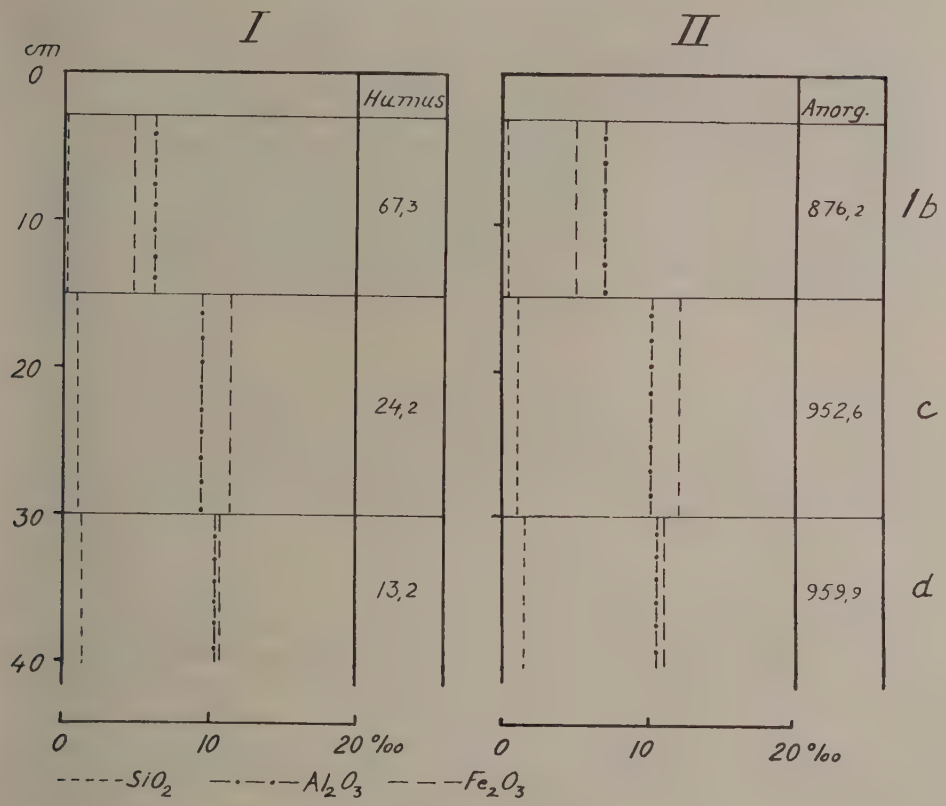


Fig. 13.

Boden Nr. 1 b—d (Probe Nr. 4–6). Das vertikale Wechseln der Kolloide.
I. In Gewichts-‰ von trocknem Boden.
II. In Gewichts-‰ von anorganischem Stoff des Bodens.
Anorg.: Anorganische Stoffe in Gewichts-‰ von trocknem Boden.

(Jord nr. 1 b–d (prøve nr. 4–6) Kolloidenes vertikale veksling.
I. I vekt-‰ av tørr jord.
II. I vekt-‰ av jordens uorganiske stoffer
Anorg.: Uorganiske stoffer i vekt-‰ av tørr jord).

hier die Methode Tamms für die quantitative Bestimmung der anorganischen Kolloide (Sesquioxyde, Kieselsäure) und die Methode Odéns für die Bestimmung der Humuskolloide.

Das Resultat der ausgeführten Analysen ist in den Figuren 13 bis 20 graphisch dargestellt.

Laubwald- und Laub-Nadelwaldböden.

Boden Nr. 1 (Probe Nr. 4—6) stammt aus gutem Laubwaldboden, ohne sichtbare Kennzeichen der Podsolierung. Die vertikale Verteilung der Bodenkolloide

macht indessen deutlich klar, dass eine Podsolierung vorliegt, seien die anorganischen Kolloide in g pro kg trocknem Boden (Fig. 13 I) oder in g pro kg anorganischem Stoff des Bodens (Fig. 13 II) angegeben. Die SiO_2-Kolloide, von welchen es wenig gibt, zeigen eine mit der Tiefe gleichmässig steigende Menge, von Nr. 1 b (dem A-Horizont) über Nr. 1 c (dem B-Horizont) bis Nr. 1 d. Die unteren Horizonte besitzen einen einigermassen gleichen Inhalt von Sesquioxydkolloiden, der entschieden grösser ist als der des A-Horizonts (Nr. 1 b). Dagegen nimmt die Menge der Humuskolloide stark aber gleichmässig ab, je nachdem die Tiefe zunimmt.

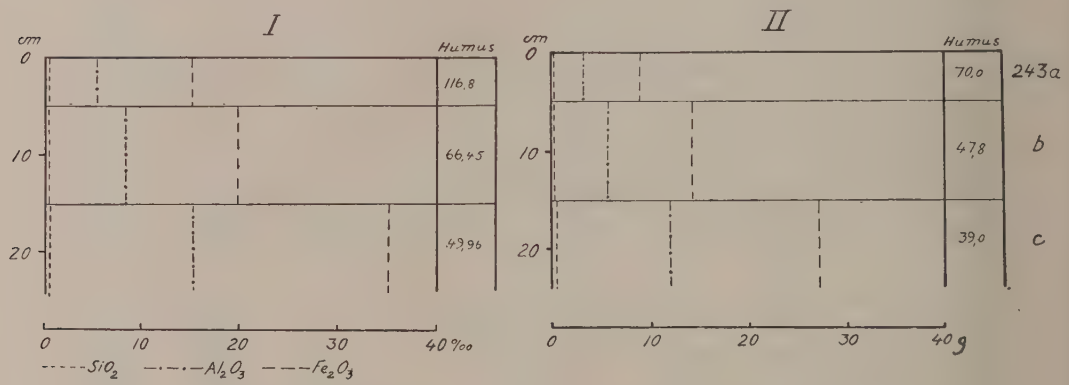


Fig. 14.

Boden Nr. 243 a—c (Probe Nr. 10–12). Das vertikale Wechseln der Kolloide.
I. In Gewichts-‰ von trocknem Boden.
II. In g pro l frischem Boden.

(Jord nr. 243 a—c (prøve nr. 10—12). Kolloidenes vertikale veksling.
I. I vekt-‰ av tørr jord.
II. I gr pr. l naturlig jord).

Boden Nr. 240 (Probe Nr. 8—9) stammt aus Birken-Kieferwald. Unter einer schwarzen Humusdecke befindet sich ein sandhaltiger, grauer Boden. Die Tabelle 2 zeigt, dass die Podsolierung hier in gutem Gange ist und dass die niedergeschlämmten Al_2O_3- und SiO_2-Kolloide aus der Unterlage zum Teil wieder entfernt sind, während diese mit Fe_2O_3-Kolloiden ziemlich angereichert worden ist.

Boden Nr. 243 (Probe Nr. 10—12) stammt aus älterem, dichtem Birkenwald. Die Schichten Nr. 243 a—c wechseln von grauem Mullboden über ein wenig rotem bis zu stark rotem, sandhaltigem Boden. Die Analysen zeigen dann auch, dass der Boden ein typischer Podsolboden ist (siehe Fig. 14). Während die SiO_2-Kolloide in geringer Menge und vertikal ziemlich konstant verbreitet vorhanden sind, nehmen die Fe_2O_3- und die Al_2O_3-Kolloide mit der Tiefe stark zu und weisen in za. 20 cm Tiefe ganz bedeutende Mengen auf (Nr. 243 c). Die Humus-

kolloide nehmen mit der Tiefe gleichmässig ab, es sind aber in allen Schichten ganz bedeutende Mengen vorhanden.

Die untersuchten Laubwald- und Laub-Nadelwaldböden sind somit alle charakteristische Podsolböden; aber keine weisen Andeutung der Bildung von Bleicherde auf. Dies steht freilich für einen wesentlichen Teil mit dem Verhältnis in Verbindung, dass die Böden im A-Horizonte mineralreich sind, und dieser besitzt dann auch entweder Mull- oder milden Humusbodencharakter.

Es ist für diese Böden charakteristisch, dass entweder die anorganischen Kolloide in ‰ des trocknen Bodens oder in ‰ der anorganischen Stoffe des Bodens angegeben werden, dann wird das Bild ihrer mengenweisen Verteilung ungefähr dasselbe.

Nadelwaldböden.

Boden Nr. 247 (Probe Nr. 14—16) stammt aus einer 30 Jahre alten Kieferbepflanzung. Die Humusschicht (Nr. 247 a) ist dünn, < 3 cm; darunter folgt eine 10 cm dicke Schicht von braungrauem, sandhaltigem Mullboden (247 b), die in eine 7 cm dicke Schicht von braungrauem, sehr sandhaltigem Mullboden (247 c) übergeht.

In einer nahegelegenen Lokalität mit reichlicher Oxalis-Entwicklung fehlt sozusagen die Humusdecke und hier besteht die der Bodenschicht Nr. 247 b entsprechende Schicht aus gutem, klümperigem Mullboden (Nr. 247 d). Die organischen Stoffe zeigen hier einen etwas grösseren N-Inhalt als die organischen Stoffe in Nr. 247 b, und die Reaktionszahl der Probe (4,3) ist auch ein wenig grösser als die der Probe 247 b (4,05).

Fig. 15 zeigt, dass der Fichtenwaldboden Nr. 247 einen Podsolierungstypus dem des Birkenwaldbodens Nr. 243 entsprechend besitzt. Der A-Horizont (Nr. 247 a) ist an minerogenen Bestandteilen bedeutend ärmer als die untenliegenden Schichten und auch bedeutend ärmer als die entsprechenden A-Horizonte der untersuchten Laubwald- und Laub-Nadelwaldböden. Er ist aber trotzdem verhältnismässig mineralreich und es ist noch keine Rohhumusbildung merkbar vorhanden. Diese scheint indessen im Ansetzen zu sein. Die Humuskolloide zeigen nämlich im B_1-Horizonte (247 b) ein schwaches, aber deutliches, intermediäres Minimum, mit den A- und B_2-Horizonten (respektive 247 a und 247 c) verglichen, und die Reaktionszahl ist im B_1-Horizonte ein wenig niedriger als im A-Horizonte. Es geht weiter hervor, dass die anorganischen Stoffe der oberen Schicht in nicht unbedeutender Menge als Kolloide vorkommen. Werden diese in ‰ der anorganischen Stoffe angegeben, dann ergibt sich, dass von Eisenhydroxydkolloiden in der oberen Schicht relativ fast ebensoviel als in der untenliegenden Schicht vorkommt, und von Aluminiumhydroxydkolloiden mehr als doppelsoviel; ausserdem nimmt die Menge der Kieselsäurekolloide mit der Tiefe allmählich ab. Die Überführung von anorganischem Stoff in Kolloide ist also in der oberen Schicht ‰-weise am grössten; aber wegen des verhältnismässig geringen Inhalts von minerogenen Bestandteilen wird der gleichzeitige Zugang von Kationen

hier gering, und der Humus erhält deshalb die Tendenz in Rohhumus überführt zu werden.

Heideböden.

Es werden im ganzen 5 Lokalitäten untersucht, drei von denen auf Jæren (Boden Nr. 2, 3 und 4) und zwei in Fjell, in der Nähe von Bergen, und hier über typischem Granittgrund (Boden Nr. 5 und 6).

Die obere Schicht der Böden von Fjell ist mineralreich und nur schwach torfig (siehe Tab. 5). Die Böden von Jæren haben dagegen einen entschieden geringeren Mineralinhalt, und je nachdem der Mineralinhalt der oberen Schicht abnimmt, nimmt diese mehr und mehr den Charakter dichten, zähen Torfbodens an. Mit dem

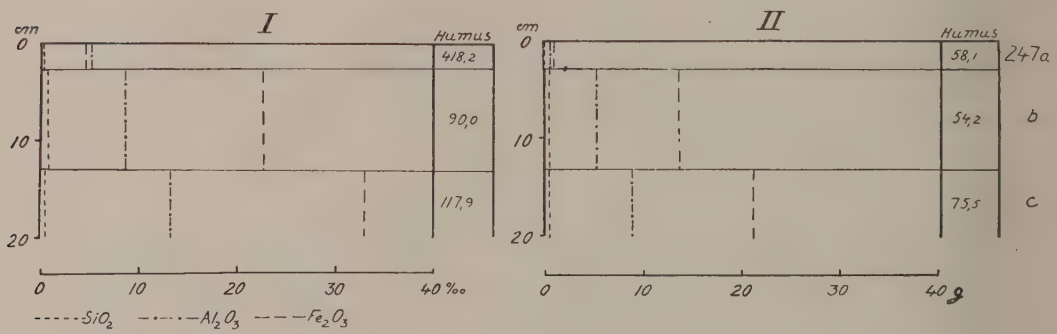


Fig. 15.

Boden Nr. 247 a—c (Probe Nr. 14—16). Das vertikale Wechseln der Kolloide.
I. In Gewichts-‰ von trocknem Boden.
II. In g pro l frischem Boden.

(Jord nr. 247 a—c (prøve nr. 14—16). Kolloidenes vertikale veksling.
I. I vekt-‰ av tørr jord.
II. I g pr. l naturlig jord).

Tabelle 5.

A_1-Horizont des Bodens Nr.	6	5	2	3	4
pH.....	4,9	4,7	3,9	3,9	4,0
Aschen-%...	76,7	63,3	38,7	27,6	8,2
Charakter der Bodenschicht	Schwach torfiger Boden 15 cm	Schwach torfiger Boden 15 cm	Loser Torfboden 5 cm	Loser Torfboden 9 cm	Rohhumus („Lyngskjold“) 15 cm

bei sinkendem Mineralinhalt zunehmenden Charakter von typischem Torfboden übereinstimmend, nimmt auch die Reaktionszahl des Bodens ab. Ein reicher Mineralinhalt scheint somit der Humussäurebildung im Torfboden entgegenzuwirken, selbst wenn die Minerale aus Urgebirgsgelände, arm an ionendispersen Kationen, stammen. Hiermit übereinstimmend hat dann auch die Podsolierung einen desto mehr umfassenden Verlauf erhalten, je mehr mineralarm der Torfboden ist (siehe Fig. 16—20).

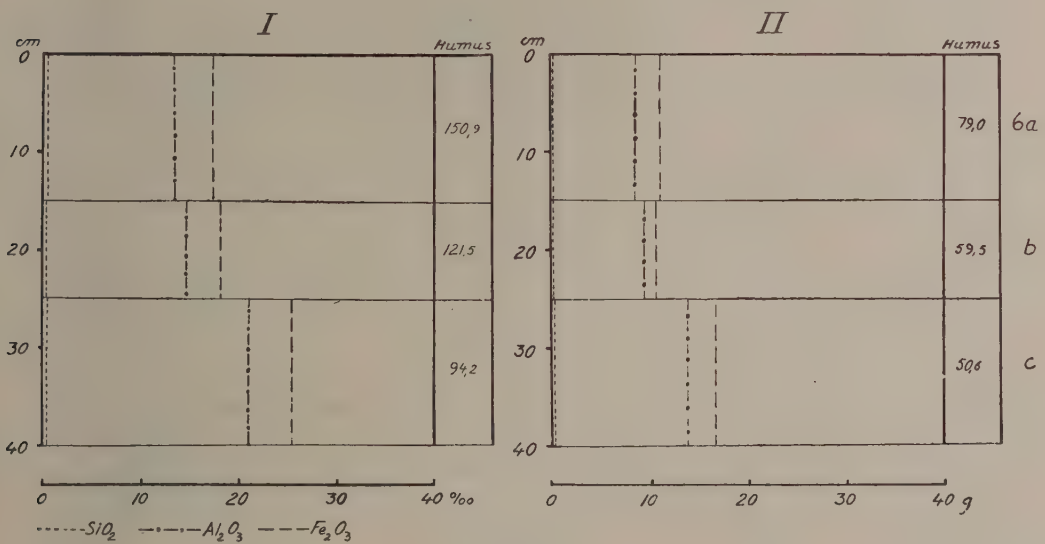


Fig. 16.

Boden Nr. 6 a—c (Probe Nr. 35—37). Das vertikale Wechseln der Kolloide.

I. In Gewichts-‰ von trocknem Boden.

II. In g pro l frischem Boden.

(Jord nr. 6 a—c (prøve nr. 35—37). Kolloidenes vertikale veksling
I. I vekt-‰ av tørr jord.
II. I g pr. l naturlig jord).

Bei den Böden Nr. 6 (Fig. 16) und Nr. 5 (Fig. 17) gibt es einen stufenweisen Farbenübergang von dem dunkelbraunen des A-Horizonts bis dem mehr braunen zu rotbraunen des B-Horizonts, und das blosse Auge kann die Bildung einer Bleicherdeschicht im Bodenprofil nicht konstatieren. Es kommen aber bedeutende und mit der Tiefe steigende Mengen von Sesquioxydkolloiden vor, und die Anreichung ist in dem Boden am grössten, wo der A-Horizont an minerogenen Bestandteilen am wenigsten reich ist (Boden Nr. 5). Diese mineralreichen Böden geben ungefähr denselben Eindruck von der vertikalen Verteilung der anorganischen Kolloide, sei die Kolloidmenge in $^{0}/_{00}$ des trocknen Bodens oder in $^{0}/_{00}$ der anorganischen Stoffe des Bodens angegeben.

In den Böden aus Jæren (Boden Nr. 2, 3 und 4) kann das blosse Auge direkt konstatieren, dass es im Bodenprofil entweder einen schwachen Zulauf zur Bildung von Bleicherde gibt (Boden Nr. 2) oder dass die Bleicherde als eine Schicht von respektive 4 cm (Boden Nr. 3) oder 10 cm Dicke (Boden Nr. 4) vorhanden ist. Die allmählich steigende Mächtigkeit der Bleicherdeschicht folgt somit dem stufenweisen Abnehmen des Mineralinhalts der oberen Schicht. In den Anreichungsschichten (den B-Horizonten) sind bedeutende Mengen von Sesquioxydkolloiden niedergeschlämmt (siehe Fig. 18—20).

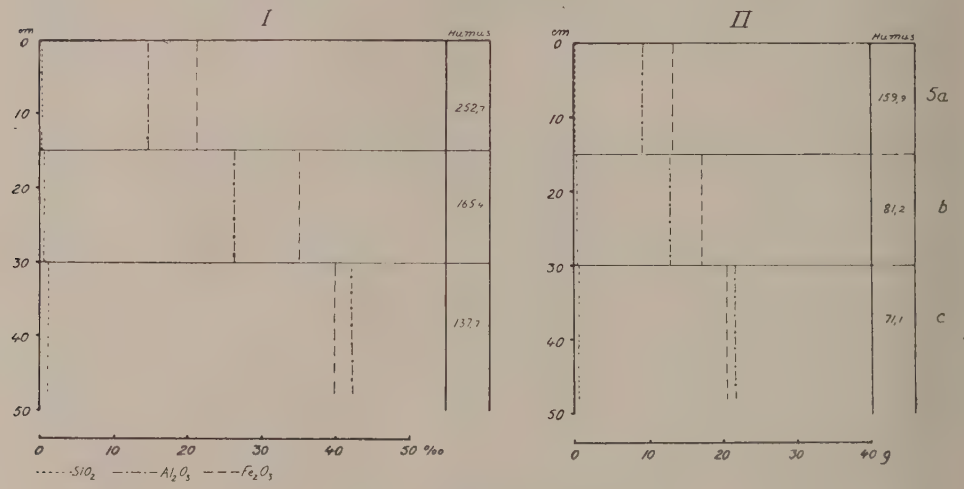


Fig. 17.

Boden Nr. 5 a—c (Probe Nr. 32—34). Das vertikale Wechseln der Kolloide.
I. In Gewichts-‰ von trocknem Boden.
II. In g pro l frischem Boden.

(Jord nr. 5 a—c (prøve nr. 32—34). Kolloidenes vertikale veksling
I. I vekt-‰ av tørr jord.
II. I g pr. l naturlig jord).

Betrachtet man die Verteilung der anorganischen Kolloide, pro kg anorganischem Stoff des Bodens berechnet, dann geht sehr charakteristisch hervor, dass, je weniger die obere Schicht von minerogenen Stoffen enthält, in desto grösserer ‰-weisen Menge kommen diese als anorganische Kolloide vor. Was die A_1-Schicht betrifft, wird somit die graphische Darstellung des mengenweisen Vorkommens der anorganischen Kolloide sehr verschieden erscheinen, je nachdem dies in ‰ von trocknem Boden oder in ‰ der anorganischen Stoffe des Bodens angegeben wird. In den übrigen Schichten herrscht dagegen gute Übereinstimmung.

Je ärmer die obere Schicht eines Bodens an minerogenen Bestandteilen ist, desto schwieriger wird es somit seinem Humus die notwendigen anorganischen Stoffe

zur Förderung seiner Zersetzung zu verschaffen, und desto mehr intensiv werden die vorhandenen anorganischen Bestandteile angegriffen und in ionen- und kolloiddisperse Stoffe überführt; aber der Zugang von ionendispersen Stoffen wird

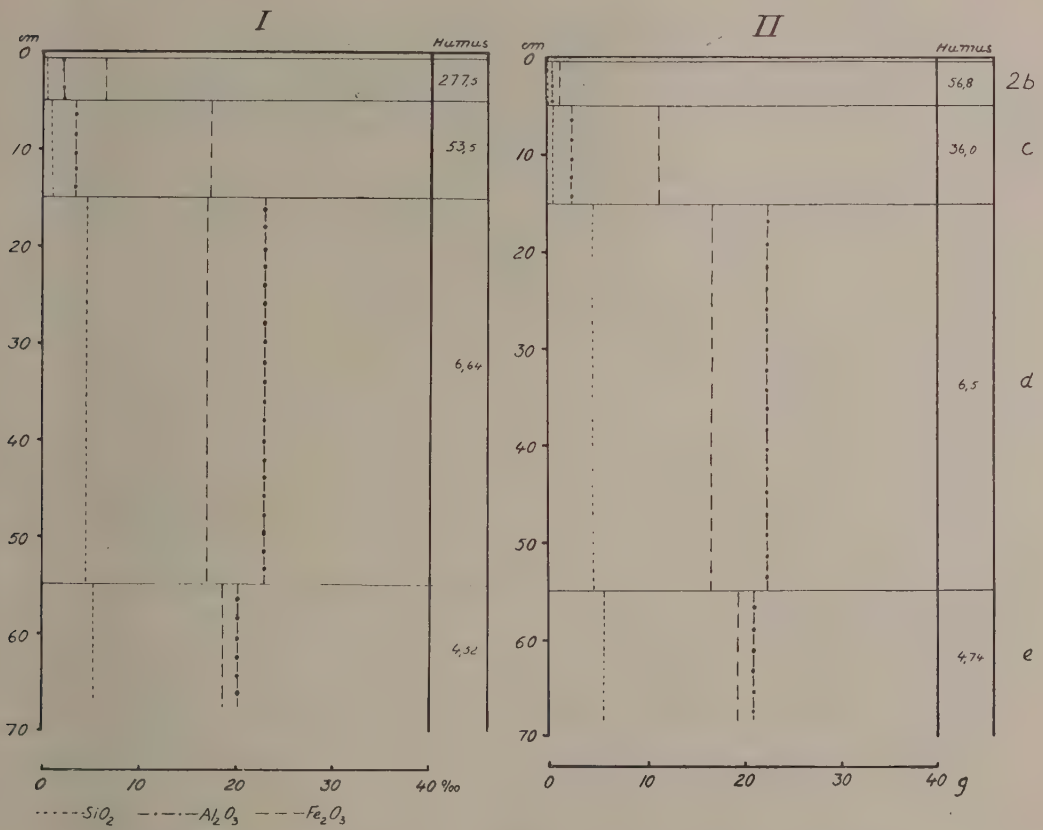


Fig. 18.

Boden Nr. 2 b—e (Probe Nr. 18—21). Das vertikale Wechseln der Kolloide.
I. In Gewichts-‰ von trocknem Boden.
II. In g pro l frischem Boden.

(Jord nr. 2 b—e (prøve nr. 18–21). Kolloidenes vertikale veksling.
I. I vekt-‰ av tørr jord.
II. I g pr. l naturlig jord).

trotzdem zu gering, wodurch die Humussäureproduktion und die Solbildung befördert werden.

Betrachtet man somit die Entwicklung der Podsolierung der untersuchten Heideböden in der Reihenfolge: Boden Nr. 6 (Fig. 16), Nr. 5 (Fig. 17), Nr. 2 (Fig. 18), Nr. 3 (Fig. 19) und Nr. 4 (Fig. 20), dann geht hervor, dass die Bildung

von Bleicherde und deren Umfang freilich davon bedingt ist, dass der A-Horizont einen genügend geringen Mineralinhalt besitzt. Je geringer dieser ist, desto mehr ausgeprägt wird die Umgestaltung des Bodens von losem, torfigem Boden bis zähem, festem Rohhumus (»Lyngskjold«), und dies bedingt weiter eine ge-

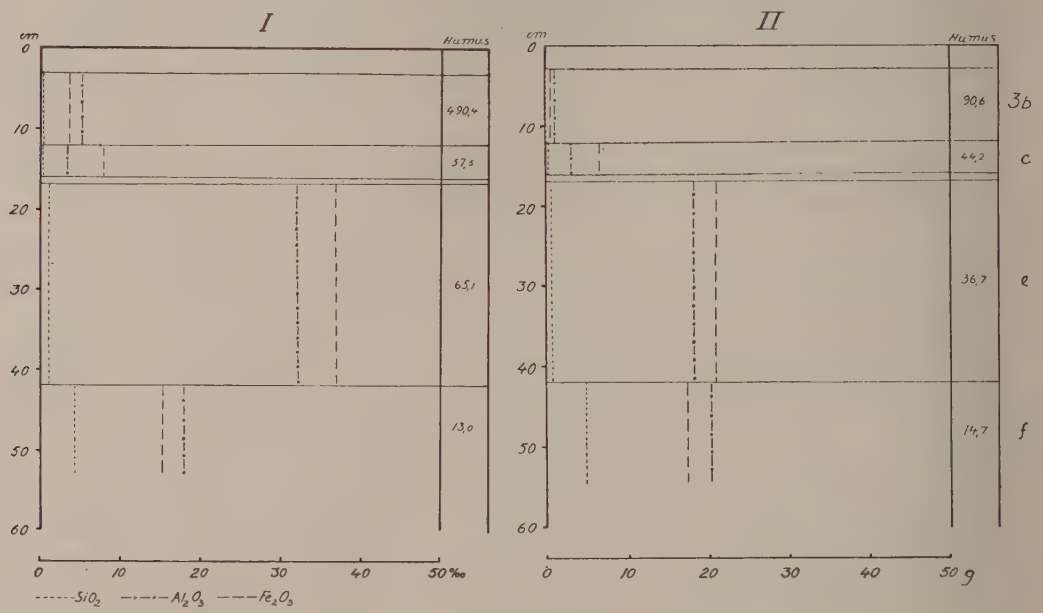


Fig. 19.

Boden Nr. 3 b—f (Probe Nr. 22—25). Das vertikale Wechseln der Kolloide.
I. In Gewichts-‰ von trocknem Boden.
II. In g pro l frischem Boden.

(Jord nr. 3 b–f (prøve nr. 22–25). Kolloidenes vertikale veksling.
I. I vekt-‰ av tørr jord.
II. I g pr. l naturlig jord)

steigerte Niederschlämmung von Humussäuresol und eine gesteigerte Bildung von Bleicherde.

Eine bedeutende und umfassende Überführung der minerogenen Bestandteile des Bodens in (ionen- und) kolloiddispersen Zustand kann somit augenscheinlich stattfinden, o h n e dass es bis zur Bildung von zähem Rohhumus (»Lyngskjold«) und Bleicherde kommt, sofern der A-Horizont einen genügend reichen Mineralinhalt besitzt, wenn auch dieser Urgebirgsmaterial entstammt; es wird dann ein loser, nur schwach torfiger Boden gebildet (Boden Nr. 6 und Nr. 5). Ist aber der A-Horizont arm an minerogenen Bestandteilen, dann werden die organischen Stoffe während ihrer Zersetzung einen so geringen Zugang von anorganischem Ver-

witterungsmaterial erhalten, dass Humussol-Bildung nicht verhindert werden kann. In diesem Falle geschieht eine weit mehr umfassende Destruktion des A-Horizonts — dieser endet bei der Bildung von Rohhumustorf oder zähem Torfboden (»Lyngskjold«) und Bleicherde — selbst wenn hier (die Böden Nr. 2, 3, 4, siehe Fig.

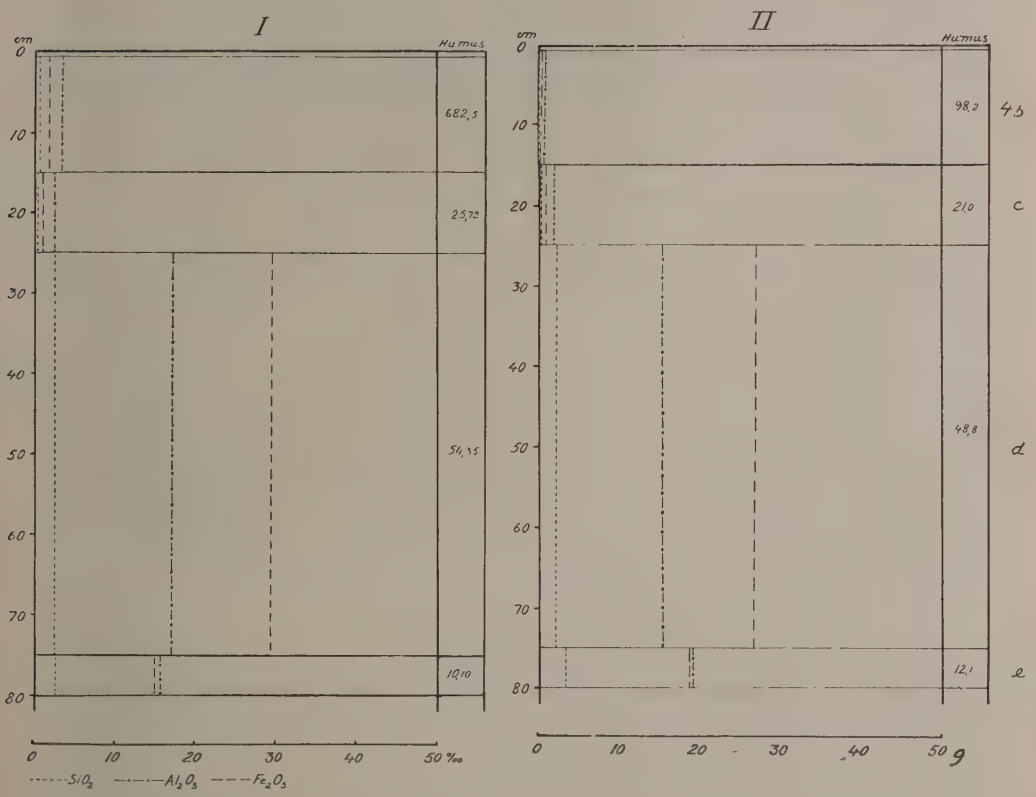


Fig. 20.

Boden Nr. 4 b—e (Probe Nr. 26—29). Das vertikale Wechseln der Kolloide.
I. In Gewichts ‰ von trocknem Boden.
II. In g pro l frischem Boden.

(Jord nr. 4 b—e (prøve nr. 26—29). Kolloidenes vertikale veksling.
I. I vekt ‰ av tørr jord.
II I g pr l naturlig jord).

18—20) das Niederschlämmen von anorganischen Kolloiden noch während längerer Zeit nicht mehr umfassend zu sein braucht, als da, wo der A-Horizont mineralreich ist (Boden Nr. 5, Fig. 17).

Man hat vielleicht hier die Erklärung des scheinbar eigentümlichen Verhältnisses, dass der unangebaute Boden und der Heideboden Westnorwegens lange nicht

solche ausgeprägte Podsoltypen mit deutlichen oder mächtigen Bildungen von Bleicherde aufweisen, wie man es der Lage des Landes und den reichen jährlichen Niederschlagsmengen nach erwarten könnte: Der verhältnismässig reiche (Urgebirg-) Mineralinhalt des Bodens hat freilich eine mehr umfassende Destruktion des A-Horizonts verhindert, aber nicht die Bildung bedeutender Mengen von anorganischen Kolloiden, die im B-Horizonte allmählich angereichert worden sind. Hier bilden doch die Kieselsäurekolloide eine Ausnahme, diese werden ja in der Regel nur in verhältnismässig kleinen Mengen im B-Horizonte angereichert (Lundblad, Tamm, Mattson, Weis)[14]) und dies gilt auch für die hier untersuchten Bodentypen Westnorwegens. Unter bestimmten Verhältnissen können sie doch in nicht ganz unbedeutenden Mengen oder bis zu za. 5 g pro kg trocknem Boden angereichert werden (siehe z. B. Fig. 18).

Dass die Podsolierung in Westnorwegen nicht zu einer allgemeinen und umfassenden, sichtbaren Destruktion des A-Horizonts (Bildung von Rohhumus und Bleicherde) geführt hat, kann natürlich auch von einer Reihe anderer Faktoren als dem obengenannten begünstigt gewesen sein, und da besonders davon, dass der Boden porös ist (der Untergrund enthält in der Regel keinen Lehm), wodurch das Niederschlagswasser eine relativ grosse Ablaufgeschwindigkeit durch die Schichten hinunter erhält, und weiter davon, dass das Gelände im allgemeinen schräg hinabfällt und sich somit weniger für Versumpfung eignet so wie die mehr flachen Gebiete in Ostnorwegen, in Schweden und in Dänemark. Dass Ortstein verhältnismässig selten angetroffen wird kann somit dem Verhältnis zugeschrieben werden, dass die hinunterrieselnden Wasser- und Kolloidmengen im allgemeinen auf keine dichte oder undurchdringliche Schicht stossen, wo Koagulierung und »Zementierung« der Zersetzungsprodukte stattfinden können.

Es geht somit hervor, dass die untersuchten Bodentypen Westnorwegens nicht zu den meist typischen Podsolen gehören, sondern mehr relativ feuchte, podsolige Böden sind. Die verhältnismässig niedrigen Temperaturen und der im allgemeinen hohe Mineralinhalt des Bodens bewirken, dass der A-Horizont mit der Tiefe durchgehend einen grauschwarz-graulichen Farbton annimmt, und gleich darunter folgt der rostbraune B-Horizont.

Der Bodenzerstörer in Westnorwegen ist somit der saure Humus, dieser erschwierigt die Fähigkeit der oberen Bodenschicht, ionendisperse Nahrungsstoffe für die Mikroorganismen und Pflanzen zu speichern und verhindert dadurch, dass basischer Humus d. h. normaler, guter Boden gebildet wird. Wenn somit der Boden in gutem, den Pflanzenwachstum beförderndem Zustand überführt werden soll, muss der saure Humus durch umfassende Kalkung neutralisiert werden.

---

[14]) Karl Lundblad, Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt. H. 21, No. 1. Stockholm 1924.

Olof Tamm, Ibidem. H. 26, No. 2. Stockholm 1930 – 31.

Sante Mattson, Soil Science, XXXI, 57, 1931.

Fr. Weis, Det kgl. Danske Vidensk. Selsk., Biol. Medd. VII, No. 9, 1929, og X, No. 3, 1932

Kolloide und Hygroskopizität.

Während das kapilläre Wasser eines frischen Bodens je nach Jahreszeit, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsverhältnissen u. s. w. relativ grossen Schwankungen unterliegt, so ist der Wassergehalt des luftgetrockneten Bodens, seine Hygroskopizität, von dem Inhalt des Bodens von organischen und anorganischen Kolloiden stark geprägt. W e i s hat dies für die dänischen Heideböden nachgewiesen (l. c. 1929, S. 66—73 und 1932, S. 46) und findet, dass das hygroskopisch gebundene Wasser »genau der Verteilung von Humus und anorganischen Kolloiden folgt, und dass diese letzten immer die relativ grösste Hygroskopizität aufweisen«. Als Mass des Humus im Boden

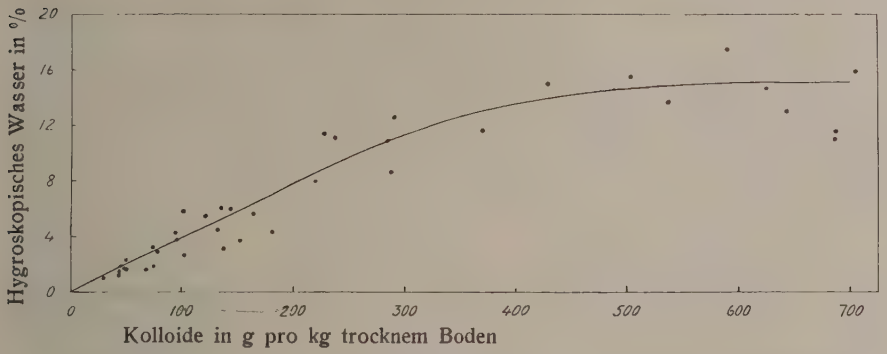


Fig. 21. Die Verbindung zwischen dem Kolloidinhalt und der Hygroskopizität des Bodens.
(Forbindelsen mellem jordens kolloidinnhold og hygroskopisitet).

benutzt W e i s seinen Inhalt von organisch gebundenem Kohlenstoff. Wir stellen den Inhalt von Humuskolloiden durch die kolorimetrische Methode O d é n s fest und die nachgewiesenen Werte gehen aus Tabelle 2 hervor. In den von uns untersuchten Böden muss somit die Hygroskopizität im Verhältnis zu den gesamten anorganischen und organischen Kolloiden betrachtet werden. Es geht dann hervor, dass eine deutlich nachweisbare Verbindung zwischen der Hygroskopizität und dem Kolloidinhalt des Bodens Westnorwegens besteht. Dies geht aus der graphischen Darstellung der Fig. 21 hervor, die zeigt, dass die Menge von hygroskopisch gebundenem Wasser mit der Menge von Kolloiden durchgehend proportional steigt, bis der Kolloidinhalt za. 300 g pro kg trocknem Boden oder za. 30 % beträgt. Von nun an steigt die Menge von hygroskopisch gebundenem Wasser merkbar langsamer und bei einem Kolloidinhalt von za. 50 % scheint es als ob die Hygroskopizität einen Maximumswert von za. 16 % erreicht hat, worüber sie im allgemeinen nicht steigt, selbst wenn der Kolloidinhalt bis zu za. 70 % steigt. Die grösste Hygroskopizität, 17,56 %, zeigt ein Torfboden (Nr. 3 b), die niedrigste, 0,92 %, eine Bleicherde (Nr. 4 c).

Stickstoffinhalt.

Der Stickstoff eines Bodens kommt bekanntlich für den allerwesentlichsten Teil organisch gebunden vor. In den von uns eingesammelten Proben wird die Stickstoffmenge sowohl in % von trocknem Boden als in % von organischem Stoff des Bodens angegeben (siehe Tab. 2). Der unangebaute Boden Westnorwegens enthält in der Regel weit grössere N-Mengen als guter Ackerboden (wo ein N-Inhalt von 0,1—0,2 % des trocknen Bodens für ganz bedeutend angesehen wird). Betrachtet man somit die Proben des oberen Bodenhorizonts (der A_1-Schicht) und werden diese dem Vegetations-Typus nach geordnet, dann erhält man folgende Übersicht (Tab. 6).

Tabelle 6.

Gesamtstickstoff von trocknem Boden des A_1-Horizonts (in %).

Vegetations-Typus	Laubwald	Gemischter Wald	Weidefeld	Nadelwald	Heide	Moor
	0,419	0,584	0,802	1,840	1,10	2,19
	0,557	0,879	0,801	1,722	2,032	2,687
	0,783				2,140	1,824
					1,191	1,337
					1,590	2,237
					0,922	
					0,627	
Mittel N-%	0,586	0,732	0,801	1,781	1,371	2,055

Die untersuchten Böden können somit in zwei Gruppen eingeordnet werden: I. Die, welche einen N-% des trocknen Bodens < 1 und II. die, welche einen N-% > 1 haben.

I. Die Proben von Laubwaldböden, Laub-Nadelwaldböden und Weideböden haben alle einen N-% < 1, die Laubwaldböden durchschnittlich den geringsten, die Weideböden den grössten.

II. Die Proben von Nadelwaldböden, Heideböden und Moorböden haben in der Regel einen N-% > 1. Der N-Inhalt des Heidebodens variiert bedeutend und kann bisweilen < 1 werden, nämlich wenn der Mineralinhalt des Bodens sehr gross ist (Boden Nr. 5 a und 6 a). Die Heideböden haben den durchschnittlich geringsten N-%, die Nadelwaldböden haben einen ein wenig grösseren, während die Moorböden den grössten Durchschnittswert aufweisen.

Wird somit der N-Inhalt in % des trocknen Bodens angegeben, dann steigt dieser Inhalt durchgehend je nachdem der Bodentypus sich in der Reihenfolge Laubwald-, gemischtem Wald-, Weidefeld-, Heide-, Nadelwald-, Moorboden ändert, d. h. je nachdem die Qualität des Bodens und seine Vegetation sich verringern.

Wird dagegen der N-Inhalt in % des organischen Stoffs des Bodens angegeben, dann ergibt sich ein anderes Bild. Dies geht aus der Zusammenstellung in Tabelle 7 hervor. Der N-% liegt dann durchgehend im Gebiete 2—4. Auch hier können die untersuchten Bodenproben in zwei Gruppen eingeteilt werden: I. Die, welche einen N-% im organischen Stoff $\leqq 3$ und II. die, welche einen N-% < 3 haben.

Tabelle 7.

Gesamtstickstoff von organischem Stoff des A_1-Horizonts (in %).

Vegetations-Typus	Laubwald	Gemischter Wald	Weidefeld	Nadelwald	Heide	Moor
	3,38	3,0	3,82	2,24	1,78	2,83
	3,14	4,11	2,64	2,14	2,81	3,11
	3,23				2,34	2,81
					2,90	1,46
					2,10	2,56
					2,51	
					2,69	
Mittel N-%	3,25	3,55	3,23	2,19	2,45	2,55

I. Die Proben aus Laubwald-, gemischtem Wald- und Weidefeldboden haben im allgemeinen in ihrem organischen Stoff einen N-% $\leqq 3$ und weisen einen Durchschnittswert von za. 3,2—3,5 auf.

II. Die Proben aus Nadelwald-, Heide- und Moorboden haben im allgemeinen einen N-% < 3. Die Nadelwaldböden zeigen durchschnittlich den geringsten N-%, während die Moorböden den grössten aufweisen.

Werden die Bodenproben nach sinkendem N-%-Wert geordnet, dann entsteht die Reihenfolge Laubwald-, gemischter Wald-, Weide-, Moor-, Heide- und Nadelwaldböden. D. h. nachdem die Qualität des Bodens und der Vegetation geringer wird, dann nimmt der N-% des organischen Stoffs des Bodens ab. Dies kann so erklärt werden: Die Natur der organischen Bestandteile eines Bodens wird von der Natur der hier wachsenden Pflanzen und der der Mikroorganismenzellstoffe, die während des Dekomponierens der Pflanzen (und Tiere) syntetisiert werden, geprägt. Die chemische Zusammensetzung des Humus ist bekanntlich sehr wechselnd und wird von der Natur der Pflanzenreste, von der Art und dem Grade der Zersetzung und von der Art und der Menge der vorhandenen Mikroorganismen bedingt. Ein Bodenhumus ist somit anhaltender Veränderung ausgesetzt. Hierunter werden besonders die schwer zersetzbaren Lignine samt Proteïne angehäuft. Die Lignine stammen aus den Pflanzenresten, die Proteïne hauptsäch-

lich aus den Mikroorganismenzellstoffen (S. A. Waksman[15]). Eine gesteigerte Zersetzung des organischen Stoffs der Pflanzen muss deshalb freilich zur Folge haben, dass eine gesteigerte Syntese von organischen N-Verbindungen (Mikroorganismen) d. h. dass eine Steigerung des N-Inhalts der organischen Bodenbestandteile stattfindet. Die relativ beste Umsetzung und damit den höchsten N-% wird hiermit übereinstimmend in organischem Stoff des aus Laubwald und Laub-Nadelwald stammenden Bodens, die relativ schlechteste Umsetzung und damit einen niedrigeren N-% im organischen Stoff der Proben aus Nadelwald-, Heide- und Moorböden gefunden.

In den Böden aus Laubwald, Nr. 243, aus Laub-Nadelwald, Nr. 240, aus Fichtenwald, Nr. 247, aus Heide, Nr. 2, 3, 4, 5, 6 und aus Moor, Nr. 241, gibt es Gelegenheit, das Wechseln des N-% in den verschiedenen Horizonten vertikal zu untersuchen.

In den Böden aus Laubwald und Laub-Nadelwald nimmt im allgemeinen der N-% der organischen Stoffe allmählich ab, je nachdem man von dem A-Horizonte in die B- und C-Horizonte hinablangt. Auch in der untersuchten Probe aus Moorboden sinkt der N-% wenn man tiefer kommt. In der Probe aus Fichtenwald dagegen ist der N-% in der Humusschicht am niedrigsten und in dem untenliegenden, sandhaltigen Mullboden ein Teil grösser. Hier deutet somit der N-% darauf, dass die Zersetzung im Mullboden (Probe Nr. 15) am besten verläuft. Die Proben aus Heideböden zeigen auch, dass der N-% durchgehend schwach abnimmt, je nachdem man von dem A-Horizonte in die B- und C-Horizonte hinablangt. Dies gilt sowohl den sehr mineralreichen Heideböden (Boden Nr. 5 und 6) als den weniger mineralreichen Böden (Boden Nr. 2, 3 und 4).

Beim Betrachten der Analysenresultate der Heideböden Nr. 2, 3 und 4 geht folgendes hervor (siehe Fig. 22): Bei dem Boden Nr. 2, der nur eine sehr schwache Andeutung zur Bleicherdeschicht zeigt, hat die Torfschicht (der A_1-Horizont) einen ein bischen niedrigeren N-% (1,78) als die untenliegende schwarzbraune und sandhaltige Schicht (der A_2-Horizont) (2,10). Die A_1- und A_2-Horizonte besitzen einen Aschen-% von respektive 38,7 und 89,8. Der recht grosse Mineralinhalt im A_1-Horizonte befördert augenscheinlich die Zersetzung der Humusstoffe dieser Schicht. Die Zersetzung verläuft aber in dem stark mineralreichen A_2-Horizonte augenscheinlich am besten; denn hier ist der N-% der organischen Stoffe am grössten, und die Torfstruktur fehlt. Es findet also hier keine merkbare Destruktion und Bleicherdebildung durch niedergeschlämmte Humussäuresole statt. Dies geschieht aber merkbar im Boden Nr. 3, wo der A_1-Horizont einen Aschen-% von 27,6 besitzt. Hier wird der A_2-Horizont in eine hellgraue Bleicherdeschicht destruiert, wo indessen die organischen Stoffe fortwährend einen grösseren N-% (3,26) als diejenigen im A_1-Horizonte (2,81) zeigen. Dieser Unterschied im N-% verschwindet indessen bei dem Boden Nr. 4, wo der A_1-Horizont einen Aschen-% nicht grösser als 8,17 besitzt. Hier nimmt der A_1-Horizont den Charakter dichten zähen

[15]) Selman A. Waksman: Chemical nature of soil organic matter and the rôle of microorganisms in its formation and decomposition. Verhandlungen der zweiten Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft. Teil A, S. 172, Budapest 1929.

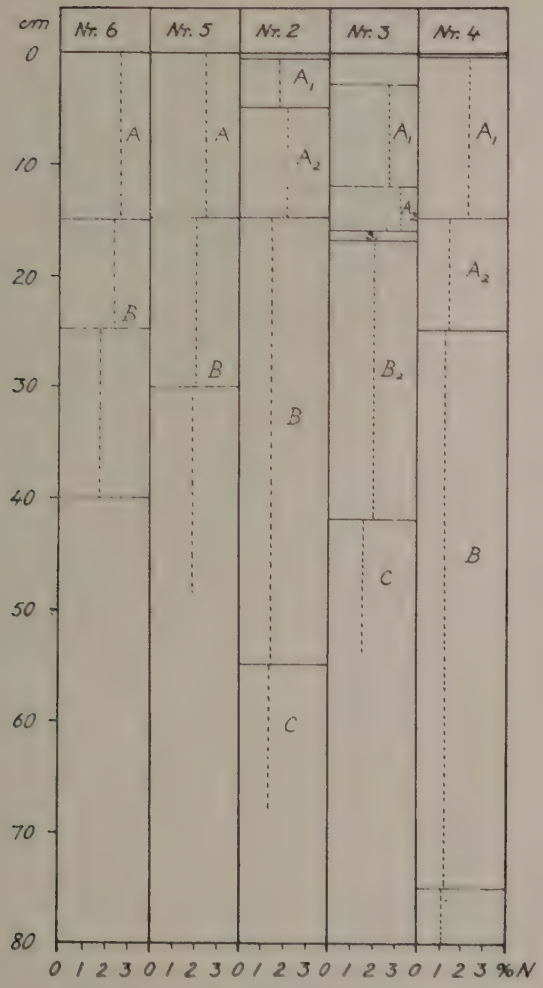


Fig. 22. Das vertikale Wechseln des Stickstoffs, in % von organischem Stoff angegeben, in den Heideböden

Nr. 6 a—c (Probe Nr. 35—37)
„ 5 a—c („ „ 32—34)
„ 2 b—e (— „ 18—21)
„ 3 b—f (— „ 22—25)
„ 4 b—e (— „ 26—29)

(Vertikal veksling av kvelstoff, angitt i % av organisk stoff, hos lyngjordene

Nr. 6 a—c (prøve nr. 35—37)
„ 5 a—c (— „ 32—34)
„ 2 b—e (— „ 18—21)
„ 3 b—f (— „ 22—25)
„ 4 b—e (— „ 26—29)

Heide-Rohhumus an, und erreicht auch die grösste vertikale Mächtigkeit (za. 15 cm). Der A_2-Horizont ist destruiert und bildet eine 10 cm dicke weissgraue Bleicherdeschicht, deren organischen Stoffe einen N-% (1,51) bedeutend kleiner als diejenigen des A_1-Horizonts (2,34) zeigen.

Die Entwicklung der Verhältnisse, so wie sie in den Heideböden Nr. 2, 3 und 4 erscheinen, macht somit die Bedeutung von einem hohen Mineralinhalte des A_1-Horizonts klar. Freilich ist der Inhalt anorganischer Kolloide dieser Böden hoch, aber das charakteristische Wechseln des Kolloidinhalts mit der Tiefe (siehe Fig. 18—20) ist durch Einwirkung von der in dem A_1-Horizonte — wegen fehlenden Mineralinhalts — gebildeten Humussole hervorgerufen. Ein genügend hoher Mineralinhalt ($\leqq$ 38,7 %, so wie bei dem Boden Nr. 2), bedingt augenscheinlich selbst wenn er aus Urgebirge stammt, dass der Humus einen so relativ guten Zugang von Kationen (Basen) erhält, dass die Humussolbildung hauptsächlich verhindert wird, und dadurch wird eine Destruktion des A_2-Horizonts entgangen. Ein relativ geringer Mineralinhalt im A_1-Horizonte ($\gtrless$ 27,6 %, so wie im Boden Nr. 3) ermöglicht dagegen Humussolbildung, Destruktion des A-Horizonts und Bildung von Bleicherde, und dies in desto grösserem Umfange je kleiner er ist.

Werden endlich die Proben der Heideböden Nr. 5 und Nr. 6 betrachtet, so sieht man, dass diese im A-Horizonte einen Aschen-% so gross als respektive 63,3 und 76,7 besitzen und trotz dass wir hier ausgeprägte Heideböden aus typischem Urgebirgsgebiet (Granitt) haben, so ist es nicht zu solcher Destruktion gekommen wie in den Proben der Heideböden Nr. 2—4. Der A-Horizont ist in Nr. 5 nur wenig torfig, in Nr. 6 nur schwach torfig. In diesen zwei Böden geht der A-Horizont gradweise in den B-Horizont über, indem er allmählich einen mehr braun bis rötlichen Farbton annimmt, und man kann hier sozusagen von Braunerdebildung sprechen.

Die untersuchten Bodenproben zeigen, dass der N-% des organischen Stoffs mit steigender Tiefe durchgehend abnimmt (siehe Fig. 22). Die Humusstoffe, die hinuntergeführt werden, haben somit den niedrigsten N-%, und in Bodentypen, wo sie die Gelegenheit haben etwas tiefer hinunter zu dringen, liegt ihr N-% an ungefähr 1,5 (Bodenprobe Nr. 1 d, 2 e, 3 e, 4 e, 5 c, 6 c, siehe auch Fig. 22).

Für die untersuchten Böden aus Westnorwegen erreichen wir somit ein anderes Resultat als Weiss (l. c. 1929, S. 243 und 1932, S. 95), der bei seinen Untersuchungen über Heideböden in Dänemark findet, dass die Humusstoffe, die am tiefsten hinunterdringen, diejenigen sind, die den grössten N-% haben. Weiss weist ausserdem einen bedeutenden Unterschied in dem N-%-Wert der tiefsten Schichten in verschiedenen Lokalitäten nach, und vermutet, dass dies mit dem verschiedenen Alter dieser Böden in Verbindung steht. Nun ist freilich der norwegische Boden von relativ jungem Alter und wir haben vielleicht hier eine Erklärung, warum in Westnorwegen ein anderes Wechseln des Stickstoffs mit der Tiefe als in den dänischen Heideböden nachgewiesen wird. Auf der anderen Seite sollte man doch a priori erwarten, dass der Humus, der als Humussol in die Tiefenschichten des dänischen Heidebodens niedergeschlämmt wird, auch hier einen niedrigeren N-% als der Humus zeigen würde, der im A-Horizonte verbleibt (siehe S. 49–50).

Wasserlösliche Bodenphosphorsäure.

Die Löslichkeit der Bodenphosphorsäure wird bekanntlich, wenn der Boden in Wasser aufgeschlämmt und geschüttelt wird, von einer Reihe Faktoren beeinflusst (siehe z. B. Bondorff und Steenbjerg, l. c.). Die wässerige Bodenschlämmung wird im allgemeinen in einem Schüttelapparat bei Zimmertemperatur (18° C) geschüttelt; die Weise, in der das Schütteln vorgenommen und die Zeit, in welcher geschüttelt wird, üben dann einen bedeutenden Einfluss auf die Phosphorsäuremenge, die sich eventuell löst. Die Einwirkung dieser Faktoren auf die Löslichkeit der Phosphorsäure der eingesammelten Bodenproben haben wir nicht untersucht. Wir haben allein versucht die Proben so gleichartig wie möglich zu behandeln um vergleichbare Resultate zu erreichen. Das Verfahren war folgendes: Eine Probe 10 g trocknem Boden entsprechend und 100 ml destilliertes Wasser werden in eine 300 ml's Schüttelflasche mit eingeschliffenem Glaspropfen angebracht. Es wird 1 ml Toluol zugesetzt um die Einwirkung von Mikroorganismen zu verhindern. Die Aufschlämmung steht 4 Tage bei Zimmertemperatur (18° C) und wird den ersten Tag 1 Stunde, in jedem der drei nachfolgenden Tage eine halbe Stunde im Schüttelapparat geschüttelt. Danach wird durch ein Membranultrafilter filtriert, das während der Filtrierung keine nachweisbare Phosphorsäuremengen abgibt. Die Filtrierung wird erst vorgenommen, nachdem das meiste der Bodenpartikeln sich am Boden der Schüttelflasche gesetzt hat, um so wenig Boden wie möglich auf das Ultrafilter zu bringen. Im Ultrafiltrat wird der Phosphorsäureinhalt festgestellt und ist im folgenden pro 100 ml Wasser angegeben.

Bei dem obengenannten Verfahren ist nicht immer gegeben, dass nach 4 Tagen Gleichgewichtszustand in der wässerigen Bodenschlämmung eingetreten ist. Die Natur (Zusammensetzung) und die Struktur des einzelnen Bodens beeinflussen nämlich die Zeit, die mitgeht, ehe sich Gleichgewicht zwischen gebundener und gelöster Phosphorsäure einstellt, d. h. die Lösungsgeschwindigkeit der Bodenphosphorsäure kann variieren. Eine Reihe orientierender Untersuchungen zeigen dies deutlich, indem wir die wässerige Bodenschlämmung nicht allein 4 Tage, sondern auch 33 Tage stehen lassen. Während des 33 Tage langen Stehens wird die 4 ersten Tage in der Weise wie oben erwähnt und später 1 Stunde jeden zweiten Tag geschüttelt. Es geht dann hervor, dass die Bodentypen, die einen Überschuss von Basoiden im Verhältnis zu Azidoiden haben, entweder nicht oder nur in äusserst geringem Grade nachweisbare Mengen von Phosphorsäure dem Wasser der Bodenschlämmung abgibt, und dies ist der Fall, sei die Schüttelzeit 4 Tage oder 33 (siehe Fig. 23).

Unter den eingesammelten 43 Bodenproben sind es im ganzen 30 Proben, die einen Basoidüberschuss besitzen. In der Regel ist Gleichgewichtseinstellung in diesen Proben schon im Laufe von 4 Tagen erreicht. Von den untersuchten 30 Proben gilt dies somit die 20 (siehe Tab. 8 a), für 7 der Proben gilt dagegen, dass, wenn die Schüttelzeit von 4 bis 33 Tagen verlängert wird, dann wird eine merkbare aber schwache Steigerung der Menge der wasserlöslichen Phosphorsäure konstatiert,

Tabelle 8 a.

Probe Nr.		3	4	5	6	7	9	12	16	20	21	24	25	28	29	33	34	35	36	37	45
pH		4.2	5.6	5.0	4.97	4.92	4.60	4.58	4.35	5.17	5.32	4.92	4.92	4.95	5.09	5.06	5.28	4.87	4.92	4.99	4.50
Überschuss von Basoiden (in mg-Äquiv. pro kg trocknem Boden)		1865	330	894	924	939	1113	2066	1655	1817	1697	3053	1456	1876	1381	2401	3535	974	1169	1915	2996
Wasserlösliche Phosphorsäure (mg PO_4 pro 10 g trocknem Boden)	Nach 4 Tagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nach 33 Tagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 8 b.

Probe Nr.		11	15	17	23	27	30	32	44	10	19
pH		4.39	4.09	4.35	4.1	4.1	4.31	4 7	4.73	4.27	4.10
Überschuss von Basoiden (in mg-Äquiv. pro kg trocknem Boden)		1013	1060	1565	340	88	419	907	2436	509	671
Wasserlösliche Phosphorsäure (mg PO_4 pro 10 g trocknem Boden)	Nach 4 Tagen	0	0	0	0.160	0.07	0	0	0	0.10	0.085
	Nach 33 Tagen	0.014	0.008	0.012	0.374	0.35	0.026	0.026	[0.01]	0.06	0

und für 2 der Proben gilt, dass die Menge der wasserlöslichen Phosphorsäure abnimmt, wenn die Schüttelzeit genügend lange dauert (siehe Tab. 8 b).

Die obenstehende tabellarische Zusammenstellung zeigt, dass von den 30 Bodenproben mit Basoidüberschuss es nur 4 (Nr. 10, 19, 23, 27) sind, die nach 4 Tagen nachweisbare Mengen von wasserlöslicher Phosphorsäure abgeben. Für alle 4 Proben gilt, dass deren Basoidüberschuss verhältnismässig gering und kleiner als 700 ist. Nach 33 Tagen ist die Anzahl der Bodenproben, die wasserlösliche

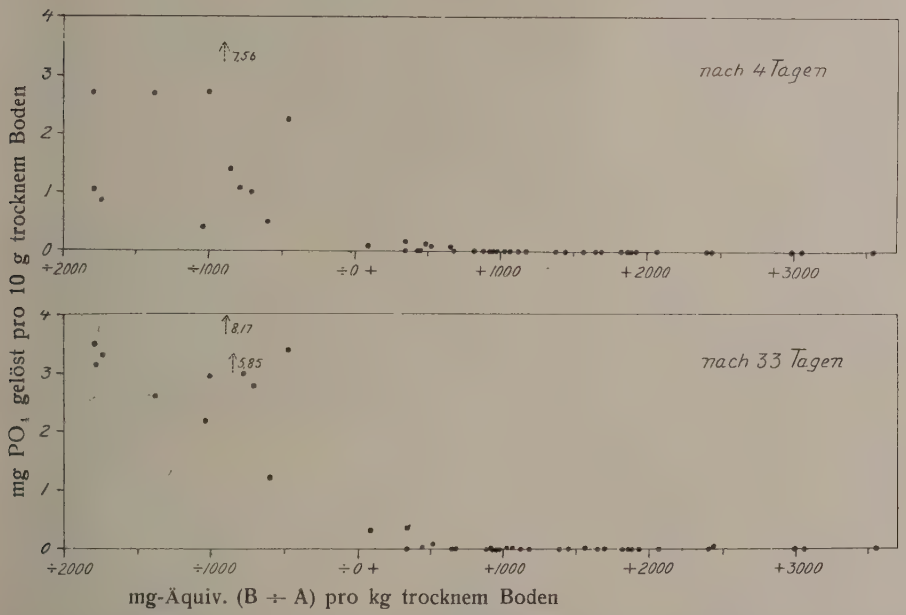


Fig. 23. Die Verbindung zwischen dem Inhalt des Bodens von Basoiden (B) im Verhältnis zu Azidoiden (A), durch B ÷ A angegeben, und seiner Fähigkeit Bodenphosphorsäure abzugeben. a. Nach 4 Tagen. b. Nach 33 Tagen.

(Forbindelsen mellem jordens innhold av basoider (B) i forhold til acidoider (A), angitt ved B ÷ A, og evne til å avgi fosforsyre.
a. Efter 4 døgn. b. Efter 33 døgn).

Phosphorsäure abgeben, bis zu 7 gestiegen, und ihr Basoidüberschuss übersteigt nicht 1600 (es wird also von der Probe Nr. 44, die gedüngt ist, abgesehen). Gleichzeitig wird konstatiert, dass die Löslichkeit zwei dieser Proben (Nr. 10 und 19) zurückgegangen ist. Von den im ganzen 20 Proben, die selbst nach 33 Tagen keine nachweisbare Phosphorsäuremengen dem Wasser abgeben, haben 15 einen Basoidüberschuss grösser als und 5 einen Basoidüberschuss kleiner als 1000.

Unter den eingesammelten 43 Bodenproben sind es 12, die einen Überschuss von Azidoiden im Verhältnis zu Basoiden haben (siehe Tab. 9). Alle diese Proben geben wasserlösliche Phosphorsäure ab, wenn sie mit Wasser geschüttelt werden.

Tabelle 9.

Probe Nr.		13	14	18	22	26	31	38	39	40	41	42	43
pH		4.00	4.09	3.9	3.90	3.83	3.88	4.4	4.10	3.83	5.36	3.57	4.18
Überschuss von Azidoiden (in mg-Äquiv. pro kg trocknem Boden)		857	793	484	1008	1793	1798	600	897	1740	706	1384	1048
Wasserlösliche Phosphorsäure (mg PO_4 pro 10 g trocknem Boden)	Nach 4 Tagen	1.40	1.085	2.335	2.705	1.05	2.70	0.496	7.56	0.875	0.99	2.70	0.407
	Nach 33 Tagen	5 85	2.98	3.41	2.94	3.15	3.50	1.22	8.17	3.32	2.78	2.62	2.17
	Steigerung	4.45	1.90	1.08	0.24	2.10	0.80	0.72	0.61	2.45	1.79	- 0.08	1.76

Die obenstehende tabellarische Zusammenstellung zeigt, dass sowohl nach 4 als nach 33 Tagen verhältnismässig bedeutende Mengen von Phosphorsäure aus diesen Bodenproben gelöst worden sind, und, ein Boden (Nr. 42) ausgenommen, dass die Menge durch die Verlängerung der Schüttelzeit von 4 bis 33 Tage gesteigert worden ist. Diese Steigerung wechselt von einer relativ kleinen (Nr. 22) bis zu einer relativ sehr grossen (Nr. 13).

Während also ein 4 Tage dauerndes Stehen der wässerigen Bodenschlämmung, bei Schütteln wie oben erwähnt, in der Regel einen guten Einblick in die Gleichgewichtseinstellung gibt, wenn der Boden einen Überschuss von Basoiden enthält, dann ist dies bei einem Überschuss von Azidoiden nicht der Fall. Man erhält aber doch auf alle Fälle bei diesem Verfahren einen guten Einblick in die Fähigkeit eines Bodens, Phosphorsäure dem Wasser der wässerigen Bodenschlämmung abzugeben. Und wird die Schüttelzeit bis zu 33 Tagen verlängert, dann erhält man einen ganz guten Einblick darin, wie viel Phosphorsäure gelöst werden kann.

Die Reaktionszahl der 20 Proben, die selbst nach 33 Tagen dem Wasser keine nachweisbare Phosphorsäure abgeben, liegt bei 15 im Gebiete za. 4,9—5,6, bei 3 im Gebiete 4,5—4,7, und nur bei 2 im Gebiete 4,2—4,35, aber diese 2 Bodenproben haben alle beide einen bedeutenden Überschuss von Basoiden (siehe Tab. 8 a), welches erklärt, warum sie keine Phosphorsäure selbst in diesem niedrigen Reaktionsgebiete abgeben (vergl. mit Fig. 2—3). In sämtlichen 20 Proben kann somit die fehlende Fähigkeit des Bodens, Phosphorsäure dem Wasser abzugeben, durch den Überschussinhalt von Basoiden im Verhältnis zu Azidoiden erklärt werden, und ausserdem dadurch, dass die Reaktionszahl in einem Gebiete liegt, wo die Basoide sich stark geltend machen können (vergl. mit Fig. 2—3).

Die 9 Proben, die schon nach 4 oder jedenfalls nach 33 Tagen merkbare Mengen von Phosphorsäure dem Wasser abgeben, haben alle ihre Reaktionszahl

innerhalb des Gebietes 4,1—4,7, und ganze 8 haben die Reaktionszahl im Gebiete 4,1—4,4. Nun geht hervor, dass die Bodenphosphorsäure eben im Reaktionsgebiete 4,1—4,4 die Gelegenheit hat, merkbar gelöst zu werden, auch wenn ein Überschuss von Basoiden vorhanden ist, sofern nur dieser nicht zu gross ist (vergl. mit Fig. 2). Wir haben somit hier die Erklärung, warum diese Böden nachweisbare Mengen von Phosphorsäure abzugeben vermögen.

Was zuletzt die 12 Bodenproben betrifft, die eine bedeutende Fähigkeit, Phosphorsäure abzugeben, besitzen, so enthalten sie alle einen Überschuss von Azidoiden, was dies Verhältnis ganz erklärt (G a a r d e r 1930). Wie man sieht, haben diese 12 Proben auch die durchgehend niedrigste Reaktionszahl; sie haben alle ihre Reaktionszahl innerhalb des Gebietes 3,6—4,4 und bei nicht weniger als 7 von ihnen ist die Reaktionszahl $\leqq$ 4,0. (Es wird fortwährend von der gedüngten Probe Nr. 41 abgesehen, die eine Reaktionszahl gleich 5,36 besitzt).

In Hinblick auf die Reaktion der untersuchten Bodenproben kann man somit auch sagen, dass, wenn diese bei za. 5 liegt, dann fehlt dem Boden im allgemeinen die Fähigkeit nachweisbare Mengen Phosphorsäure abgeben zu können; wenn sie bei za. 4,3 liegt, dann werden relativ ganz kleine Mengen abgegeben und wenn sie za. 4,0 oder kleiner ist, dann gibt der Boden im allgemeinen relativ ganz bedeutende Mengen ab (siehe Fig. 24). Diese Verbindung zwischen der Wasserlöslichkeit der Bodenphosphorsäure und der Reaktionszahl der Bodenschlämmung rührt doch nicht (oder nur zu einem geringen Teil) von der Reaktionszahl als solche, sondern hauptsächlich von der Menge von und dem Mengenverhältnis zwischen den Azidoiden und den Basoiden des Bodens her. Betrachtet man nämlich die Verbindung zwischen der Wasserlöslichkeit der Bodenphosphorsäure nach 33 Tagen und dem Verhältnis A : B d. h. mg-Äquiv. Azidoide (A) : mg-Äquiv. Basoide (B) des betreffenden Bodens, so geht hervor (siehe Tab. 13), dass alle die Bodenproben (im ganzen 12), die ein Verhältnis A : B gleich oder grösser als 1 besitzen, merkbare Mengen von Phosphorsäure abgeben. Die Bodenproben, wo das Verhältnis A : B kleiner als 1 ist, haben dagegen die Fähigkeit die Phosphorsäuremenge zu binden, die durch Hydrolyse von ihren Humusstoffen abgespaltet wird, und geben deshalb entweder keine merkbare — die meisten oder 22 Bodenproben — oder nur ganz kleine Mengen von Phosphorsäure ab — im ganzen 8 Bodenproben. Hier ist es nun von besonderem Interesse zu untersuchen, warum die letztgenannten 8 Bodenproben, trotz ihres Überschusses von Basoiden, nachweisbare Mengen von wasserlöslicher Phosphorsäure abzugeben vermögen.

Die Ursache muss darin gesucht werden, dass der Überschuss von Basoiden entweder verhältnismässig klein, oder in einem solchen Zustand oder einer solchen Struktur vorhanden ist, dass nur ein relativ geringer Teil des Überschusses die Gelegenheit hat, a k t i v aufzutreten und Phosphorsäure zu binden, in der Realität gibt es somit auch in diesem Fall nur einen kleinen Überschuss von Basoiden im Verhältnis zu Azidoiden.

Die Tabelle 8 b zeigt, dass von den 8 Proben — Nr. 10, 11, 15, 17, 23, 27, 30 und 32 — geben nur 2, nämlich Nr. 23 und 27, nach 33 Tagen eine ein wenig

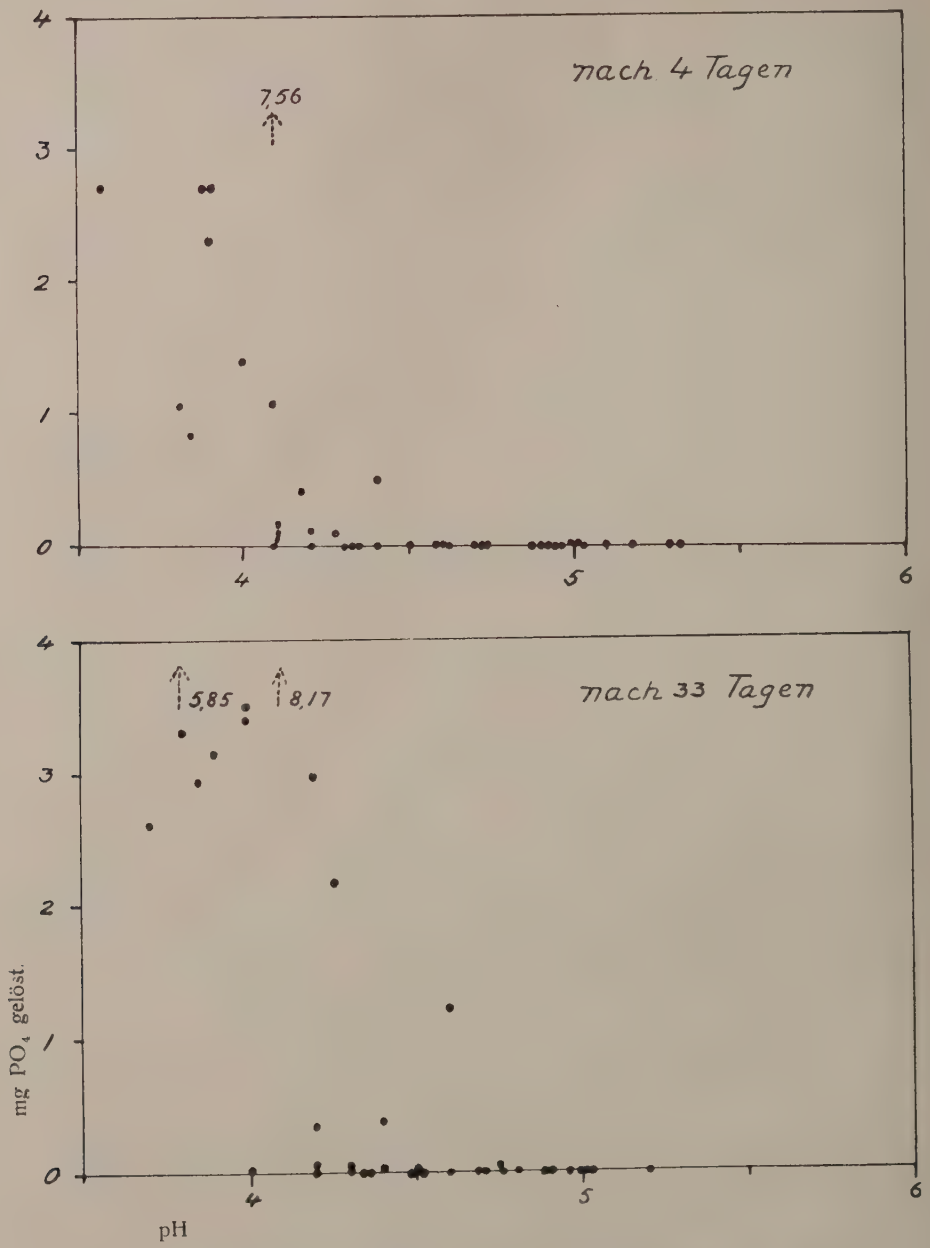


Fig. 24. Die Verbindung zwischen der Reaktion des Bodens und der Löslichkeit der Bodenphosphorsäure.
a. Nach 4 Tagen. b. Nach 33 Tagen.

(Forbindelsen mellem jordens reaksjon og jordfosforsyrens opløselighet.
a. Efter 4 døgn. b. Efter 33 døgn).

grössere Menge von wasserlöslicher Phosphorsäure ab und gerade diese 2 haben den kleinsten Überschuss von Basoiden und kleiner als 400. Alle die übrigen Proben geben nach 33 Tagen nur Spuren von wasserlöslicher Phosphorsäure ab. Die Probe Nr. 19 endlich, die nach 4 Tagen nachweisbare Mengen von Phosphorsäure abgibt, weist, wenn sie 33 Tage steht, keine Spuren davon auf. Diese Probe hat einen Basoidüberschuss von 671. Hier müssen somit die Basoide nach 4 Tagen in einer verhältnismässig wenig aktiven Menge vorhanden sein, nach 33 Tagen muss aber die aktive Menge zugenommen haben, was allein Strukturänderungen der Bodenpartikeln — durch die Einwirkung des Wassers und des Schüttelns hervorgerufen — zugeschrieben werden kann.

Die Fähigkeit der obengenannten Bodenproben Nr. 19, 23 und 27, Phosphorsäure in merkbarer Menge abzugeben, wird doch am besten klargelegt, sofern man die Lage dieser Proben in ihren Bodenprofilen betrachtet. Es ist nämlich sehr charakteristisch, dass sämtliche drei Proben die A_2-Schicht, die Auswaschungsschicht, in typischen Torfböden bilden. Durch diese Schicht hinab sinken somit die Humuskolloidsole, und erhalten deshalb die Gelegenheit die Sesquioxydkolloide der Schicht umzuhüllen. Die zugeführten Humuskolloide treten somit hier als Schutzkolloide in doppelter Bedeutung auf, indem sie gleichzeitig die Fähigkeit der Sesquioxydkolloide zugeführte Phosphorsäure zu binden herabsetzen. Werden dagegen die Humuskolloid-Häutchen teilweise entfernt, dann muss die Phosphorsäurebindungsfähigkeit der Bodenschicht gesteigert werden können. Dies muss am leichtesten in dem Torfboden nachgewiesen werden können, wo die Podsolierung am wenigsten intensiv stattgefunden hat, nämlich im Boden Nr. 2 (den Proben Nr. 18—21). So ist dann auch der Fall, gerade die Probe Nr. 19 verliert nach längerem Schütteln (33 Tagen) die Fähigkeit, Phosphorsäure abzugeben. Hier haben somit die Sesquioxydkolloide während des Schüttelns die Gelegenheit erhalten, sich teilweise von den ihnen umhüllenden Humussäurekolloiden freimachen zu können.

Prozesse ähnlicher Art finden unzweifelhaft in allen Bodenproben statt, wenn sie mit einer wässerigen Lösung oder mit Wasser geschüttelt werden, aber in welcher Weise und wie stark die Phosphorsäurebindungsfähigkeit der Bodenprobe dadurch geändert wird, darüber ist es schwierig etwas näheres zu sagen.

Es ist gleichfalls charakteristisch, dass es von den obengenannten 8 Bodenproben (siehe Tab. 8 b) allein Nr. 19, 23 und 27 und ausserdem Nr. 10 sind, die schon nach 4 Tagen Phosphorsäure abgeben. Die Bodenprobe Nr. 10, ein grauer Mullboden, bildet die obere Schicht in einem älteren, dichten Birkenwald, wo das Profil, Nr. 243 a –c, ein typisches Podsolprofil ist. Auch für Nr. 10 kann man somit dieselbe Deutung des Verhältnisses wie für Nr. 19, 23 und 27 geben. Es ist dann auch bezeichnend, dass die Probe Nr. 10, der Probe Nr. 19 entsprechend, ein merkbares Abnehmen der gelösten Phosphorsäuremenge zeigt, wenn die Schüttelzeit bis zu 33 Tagen verlängert wird.

Obenstehendes Resultat zeigt deutlich, dass nicht nur die Menge und das Mengenverhältnis der im Boden vorhandenen Azidoide und Basoide für die Bindung und die Löslichkeit der Phosphorsäure bestimmend sind. Auch der Zustand oder

die Struktur, in welcher ein kolloiddisperser Stoff vorhanden ist, ist von grosser Bedeutung, indem gerade diese die reaktionsfähige oder aktive Menge des Stoffs bedingt. Auf dieses Verhältnis ist übrigens schon früher aufmerksam gemacht worden (Gaarder 1930).

Es geht also hervor, dass in Westnorwegen der Inhalt des Bodens von Azidoiden und Basoiden eine wichtige Rolle bei der Freimachung seiner Phosphorsäure spielt. Hierzu kommt dann der Einfluss, der von der Struktur der Bodenkolloide herrührt. Dieser letzte Faktor hat die Gelegenheit während des Schüttelns der wässerigen Bodenschlämmung geändert werden zu können, und dies kann auch auf die Reaktionszahl der Bodenschlämmung merkbar einwirken (siehe Tab. 13).

Phosphorsäurebindungsvermögen des Bodens.

Der unangebaute Boden Westnorwegens ist im allgemeinen ausgeprägt sauer; die hier besprochenen Bodenproben haben somit alle eine Reaktionszahl kleiner als 5,6. Unter den Proben sind es nur diejenigen mit einer Reaktionszahl $\leq$ za. 4,5, die in wässeriger Aufschlämmung nachweisbare Mengen von Phosphorsäure abgeben und charakteristisch für diese Proben ist, dass sie entweder einen Überschuss von Azidoiden besitzen oder dass ihr Basoidüberschuss gering ist. Die Fähigkeit des Bodens Westnorwegens, Phosphorsäure zu binden, muss somit hauptsächlich seinem Inhalt von Basoiden d. h. von kolloiden Sesquioxyden zugeschrieben werden. Je grösser der Überschussinhalt eines Bodens von aktiven Basoiden ist, desto stärker sollte er somit zugeführte Phosphorsäure binden können.

Um zu untersuchen, wie die eingesammelten Bodenproben sich hier verhalten, werden Bodenschlämmungen, 10 g von trocknem Boden + 100 ml Wasser entsprechend, eine passende und bekannte Menge von Kaliumdihydrophosphat zugesetzt. Die Bodenschlämmung wird dann während längerer Zeit geschüttelt, bis sich Gleichgewichtszustand zwischen adsorbierter und gelöster Phosphorsäure eingestellt hat. Danach wird ultrafiltriert und im Filtrate wird die Menge der gelösten Phosphorsäure festgestellt. Die Phosphorsäuremenge, die adsorbiert worden ist, kann dann leicht berechnet werden.

Die eingesammelten Bodenproben enthalten sehr wechselnde Mengen von Basoiden; so wechselt die Menge zwischen 1,73 und 40,0, wenn sie in mg-Äquiv. pro 10 g trocknem Boden angegeben wird (siehe Tab. 13). Es muss somit vorausgesetzt werden, dass die Bodenproben pro Gewichtseinheit sehr wechselnde Mengen von Phosphorsäure binden können. Aus diesem Grunde werden die Proben nach ihrem Basoidinhalt in 3 Gruppen eingeteilt. Den Proben, die pro 10 g trocknem Boden von 1,73 bis zu za. 15 mg-Äquiv. Basoide enthalten, werden pro 10 g trocknem Boden eine 100 ml's wässerige Natriumdihydrophosphatlösung zugesetzt, die 21,7 mg PO_4 enthält. Denjenigen, die von za. 15 bis zu 22,4 mg-Äquiv. enthalten, werden eine 100 ml's wässerige Phosphatlösung zugesetzt, welche 43,4 mg PO_4 enthält, und denen, die von 28,6 bis zu 40 mg-Äquiv. Basoide enthalten, werden eine 100 ml's Auflösung zugesetzt, welche 65,1 mg PO_4 enthält. Das Resultat der ausgeführten Analysen ist in Tabelle 10 zusammengestellt.

Tabelle 10.

Boden Nr.	mg PO_4 zugesetzt						
	0	21.7		43.4		65.1	
	gelöst	gelöst	gebunden	gelöst	gebunden	gelöst	gebunden
8	0			3.78	39.6		
1 b	0	9 33	12.37				
c	0	8.98	12.72				
d	0	8.17	13.53				
239	0	6.41	15.3				
240 a	0.124	7.57	14 25				
b	0	5.83	15.9				
243 a	0	7.35	14 3				
b	0	5.95	15.7				
c	0			9.09	34.3		
238	1.40	18.2	4.9				
247 a	1.085	14.0	8.78				
b	0	3.49	18.2				
c	0			8.73	34.7		
d	0			18.65	24.7		
2 b	2.335	19.82	4.21				
c	0.085	12.13	9.66				
d	0			10.81	32.6		
e	0			15.15	28.2		
3 b	2.705	20.30	4.10				
c	0.160	14 01	7.85				
e	0					15.85	49.2
f	0			19.80	23.6		
4 b	1.05	19.80	2.95				
c	0.07	17.50	4.27				
d	0			13 08	30.4		
e	0			24.45	19.0		
226	0	1.75	20.0				
256	2.70	15.60	8.8				
5 a	0			9.32	34.1		
b	0					9 32	55.8
c	0					4.43	60.7
6 a	0	1.28	20.4				
b	0	0.271	21.4				
c	0			4.43	39.0		
9	0.496	11.0	9.2				
241 a	7.56	21.0	8.26				
b	0.875	16.30	6.27				
244	0.99	10.25	12.4				
248	2.70	17.92	6.5				
255	0.407	7.45	14.6				
245	0					24.45	40.6
246	0					7.57	57.5

Bei ein und derselben Reaktionszahl wird ein Überschuss von Azidoiden im allgemeinen eine leichtere Freimachung der Phosphorsäure bedingen als wenn ein Überschuss von Basoiden vorhanden ist. Nun ist es nur der reaktionsfähige oder aktive Teil der Azidoide und Basoide des Bodenkomplexes, der die Gelegenheit hat, einzuwirken, und aus dem totalen Inhalt des Bodens von Azidoiden und seinem totalen Inhalt von Basoiden kann man deshalb nicht ohne weiteres Schlussfolgerungen über die Adsorptionsfähigkeit des Bodens ziehen. Man kann auch nicht erwarten, dass eine eindeutige Verbindung zwischen der Reaktion einer Bodenprobe und ihrer Fähigkeit Phosphorsäure zu adsorbieren, besteht. Dies geht

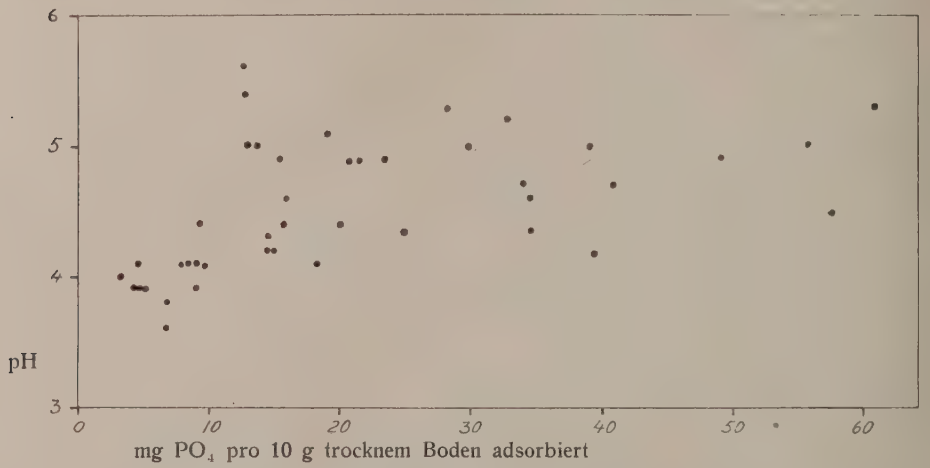


Fig. 25. Die Verbindung zwischen der Reaktion des Bodens und seiner Fähigkeit Phosphorsäure zu adsorbieren.

(Forbindelsen mellem jordens reaksjon og evne til å adsorbere fosforsyre)

dann auch sehr deutlich aus der graphischen Darstellung der Figur 25 hervor, die die Fähigkeit der untersuchten Bodenproben, Phosphorsäure (in mg PO_4 pro 10 g trocknem Boden) zu adsorbieren im Verhältnis zu ihrer Reaktionszahl angesehen, darstellt. Bei Reaktionszahlen < 4 wird freilich immer relativ wenig Phosphorsäure adsorbiert, dagegen werden in dem Reaktionsgebiete 4—5,6 sehr wechselnde Mengen bei ein und demselben Reaktionswert adsorbiert. Die meisten der untersuchten Bodenproben haben, wie man ersieht, ihre Reaktionszahl im Gebiete za. 4—5, sie zeigen aber trotzdem sehr variierende Adsorptionsfähigkeit. Dies muss ihrem wechselnden Inhalt von Azidoiden und Basoiden zugeschrieben werden, indem ein grosser Überschuss von aktiven Basoiden eine grosse Adsorptionsfähigkeit bedingt, während ein grosser Überschuss von aktiven Azidoiden eine geringe Adsorptionsfähigkeit bedingt. Wir sind indessen, wie schon früher erwähnt, allein darauf hingewiesen, zu untersuchen, ob eine Verbindung zwischen der Fähigkeit einer Bodenprobe, Phosphorsäure zu adsorbieren und ihrem grösseren oder kleineren Überschussinhalt von Basoiden im Verhältnis zu Azidoiden, besteht.

Fig. 26 gibt eine graphische Darstellung der nachgewiesenen Verbindung zwischen der Menge von adsorbierter Phosphorsäure (als mg PO_4 pro 10 g trocknem Boden adsorbiert angegeben) und der Überschussmenge von Basoiden im Verhältnis zu Azidoiden (als mg-Äquiv. (Basoide ÷ Azidoide) pro 10 g trocknem Boden angegeben) in den von uns untersuchten Bodenproben. Die Figur macht klar, dass es eine ausgeprägte Verbindung zwischen Adsorptionsfähigkeit und Überschussinhalt von Basoiden gibt. Man ersieht, dass so lange der Boden einen Überchuss von

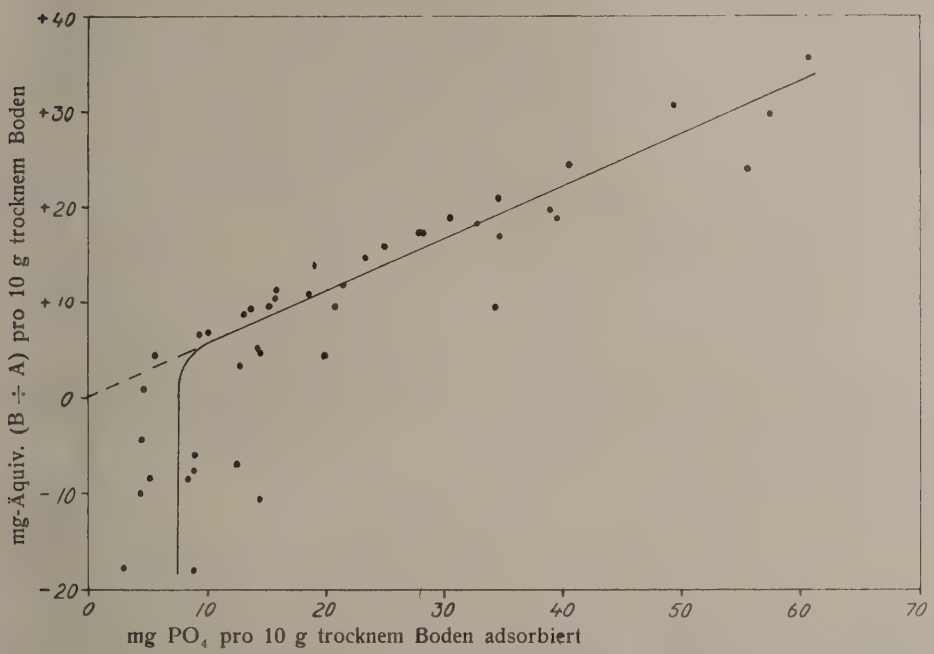


Fig. 26. Die Verbindung zwischen dem Inhalt des Bodens von Basoiden (B) im Verhältnis zu Azidoiden (A), durch B ÷ A angegeben, und seiner Fähigkeit Phosphorsäure zu adsorbieren.
(Forbindelsen mellem jordens innhold av basoider (B) i forhold til acidoider (A), angitt ved B ÷ A, og evne til at adsorbere fosforsyre)

Azidoiden hat, seine Adsorptionsfähigkeit immer klein ist und im allgemeinen nicht 10 mg PO_4 pro 10 g trocknem Boden übersteigt. Dies ist auch im allgemeinen der Fall, wenn der Boden einen sehr kleinen Überschuss von Basoiden, ≦ za. 5 mg-Äquiv. pro 10 g trocknem Boden, enthält. Aber in allen den Fällen, wo der Basoidüberschuss grösser ist, besteht in den Hauptzügen eine merkbare Proportionalität zwischen dem Basoidüberschuss des Bodens und seiner Fähigkeit Phosphorsäure zu adsorbieren. In Figur 26 ist dies durch die eingezeichnete gerade Linie veranschaulicht, und wie man ersieht passiert ihre gestrichene Verlängerung gerade durch den Nullpunkt der vertikalen Achse d. h. den Punkt, der angibt, dass äquivalente Mengen von Azidoiden und Basoiden im Boden vorhanden sind. Es

ist somit der Überschuss von Basoiden (Sesquioxydkolloiden), der für die Phosphorsäurebindungsfähigkeit des Bodens Westnorwegens bestimmend ist.

Indessen geht auch hervor, dass die Adsorptionsfähigkeit weder bei äquivalenten Mengen von Azidoiden und Basoiden noch bei einem Azidoidüberschuss auf Null herabsinkt. Die Erklärung dieses Verhaltens muss darin gesucht werden, dass wir mit den totalen Mengen von Basoiden und Azidoiden rechnen, während wir eigentlich mit den aktiven Mengen rechnen sollten. Das Resultat zeigt somit, dass der Boden immer eine merkbare Fähigkeit besitzt, Phosphorsäure zu adsorbieren, selbst wenn ein grosser Überschuss von Azidoiden vorhanden ist.

Es ist nun von gewissem Interesse festzustellen, wie gross die Fähigkeit des Basoidüberschusses, Phosphorsäure zu binden, ist, sofern dieser in normales Phosphat überführt wird. Es lässt sich dann leicht berechnen, dass ein Basoidüberschuss durchgehend nur den 18. Teil der Menge adsorbiert, die er zu binden vermag, sofern er vollständig reagiert und in normales Phosphat überführt wird. Der kolloide Zustand, in welchem der Sesquioxydüberschuss im Boden Westnorwegens vorkommt, bedingt somit, unter obengenannter Voraussetzung, dass nur 5—6 % dieses Überschusses aktiv auftreten.

In den untersuchten Bodenproben sind es somit die Sesquioxyde, die die Phosphorsäure binden. In einem Boden, wo es ein grosser Überschuss von Basoiden gibt, wird deshalb der Zugang von wasserlöslicher Phosphorsäure nur sehr gering sein. Ein guter oder reichlicher Zugang kann dagegen in den Böden erwartet werden, wo Basoide und Azidoide in Gleichgewicht oder wo die Azidoide in Überschuss sind. In humusreichen Böden muss man somit einen guten Zugang von wasserlöslicher Phosphorsäure erwarten. Dies wird auf Seite 70 u. flg. näher besprochen.

Salzsäurelösliche Bodenphosphorsäure.

Die salzsäurelösliche Bodenphosphorsäure ist in allen eingesammelten Proben bestimmt worden, von denen doch die drei, nämlich Nr. 41, 43 und 44, sich gedüngt zeigten. Im folgenden wird deshalb von diesen drei Proben abgesehen. Die Menge von salzsäurelöslicher Phosphorsäure (PO_4) geht aus Tabelle 2 hervor, die den Inhalt in g pro l frischem Boden und in mg pro 10 g trocknem Boden angibt.

Die PO_4-Menge pro l frischem Boden wechselt zwischen 0,164 g (Nr. 27) und 1,83 g (Nr. 29) und die untersuchten 40 Bodenproben können je nach ihrem kleineren oder grösseren Phosphorsäureinhalt in drei Gruppen eingeteilt werden:

Der Gruppe Nr. 1 (0,164—0,49 g pro l) gehören 10 Bodenproben. Diese Gruppe umfasst eine Reihe o b e r e r Schichten aus Nadel-Laubwald (Nr. 3), aus Birken-Kieferwald (Nr. 8), aus einer 30 Jahre alten Fichtenbepflanzung (Nr. 14), aus der Torf-Rohhumusschicht und der Bleicherdeschicht des Vikesågebietes (Nr. 26—27), welche beide die niedrigsten Werte besitzen, die überhaupt nachgewiesen werden, — samt aus der Torfschicht und der Bleicherdeschicht des Svelegebietes (Nr. 22—23). Hierher gehört weiter eine untere Schicht aus Heideboden (Nr. 36 bis

37), samt eine Probe aus Dauerweide (Nr. 42). Die Bodentypen dieser Gruppe sind somit verschieden, aber schon hier kann beobachtet werden, dass die Phosphate die Tendenz zeigen mit dem kolloiddispersen sauren Humus zusammen in die tieferen Schichten hinuntergeschlämmt zu werden. Dies geht aus den Proben Nr. 26—27 besonders deutlich hervor, wo sowohl der Rohhumus als die Bleicherde relativ sehr arm an Phosphorsäure sind.

Der Gruppe Nr. 2 (0,50—0,99 g pro l) gehört die grösste Anzahl oder 19 Bodenproben. Diese Gruppe umfasst so verschiedene Proben wie sehr gut aussehende Erlenwaldböden (Nr. 4—5), Birkenwaldböden (Nr. 7, 10—12), eine untere Schicht in Birken-Kieferwaldboden (Nr. 9), Rohhumus in Kieferwald (Nr. 13), Torfböden (Nr. 18, 30), Boden der Bleicherdeschicht (Nr. 19) und der unteren Schicht in Torfböden (Nr. 24, 28), Heideböden (Nr. 33, 35), Grasfeld auf angebautem Moor (Nr. 40) und Gebirgsfeld (Nr. 45).

Der Gruppe Nr. 3 (1,00—1,83 g pro l) gehören die Proben, die den grössten Phosphorsäureinhalt besitzen; diese Proben bestehen aus einer Reihe unterer Schichten in Fichtenwald- (Nr. 15—16) und in Heideböden (Nr. 20—21, Nr. 25, 29 und 34), samt aus ein paar Proben der oberen Schicht in Heideboden (Nr. 32) und aus angebautem Moorboden (Nr. 39), im ganzen 11 Proben.

Die kleinste Phosphorsäuremenge ist somit in den oberen Schichten, während die grösste Menge in den unteren Schichten im allgemeinen vorhanden ist. Die Phosphorsäure zeigt deshalb die Tendenz, mit den Humuskolloiden zusammen in die unteren Schichten niedergeschlämmt zu werden. Dies Verhalten tritt deutlich hervor, wenn man die Verteilung im Bodenprofile an den Stellen betrachtet, wo es möglich ist, wie z. B. bei den Heideböden Nr. 2, 3, 4, 5 und 6, samt bei dem Erlenwaldboden Nr. 1, dem Birkenwaldboden Nr. 243, dem Fichtenwaldboden Nr. 247 und dem Birken-Kieferwaldboden Nr. 240. Dagegen kann der Moorboden Nr. 241 nicht benutzt werden, da dieser angebaut und zwar Phosphatdüngung zugeführt ist.

Die Figuren 27 und 28 zeigen, wie die Menge salzsäurelöslicher Phosphorsäure mit der Tiefe schwankt, wenn sie in g pro *l* frischem Boden angegeben wird.

Wir wollen zuerst die Heideböden Nr. 2, 3, 4, 5 und 6 betrachten. In diesen nimmt der Aschen-% des A_1-Horizonts in der Reihenfolge Nr. 6 (76,7 %), Nr. 5 (63,3 %), Nr. 2 (38,7 %), Nr. 3 (27,6 %) und Nr. 4 (8,2 %) ab.

Man ersieht, dass die Phosphorsäure in Nr. 6 (Fig. 27) in der unteren Schicht und im A_1-Horizonte ungefähr entsprechend verteilt ist. In Nr. 5 (Fig. 27) gibt es im A_1-Horizonte entschieden am meisten und von den zwei unteren Schichten ist die tiefere die an Phosphorsäure reichste. Ein weiteres Entwickeln der Verhältnisse wird in den Böden Nr. 2, Nr. 3 und Nr. 4 (Fig. 27) beobachtet. In der oberen Schicht (dem A-Horizonte) nimmt die Phosphorsäuremenge pro l mit abnehmendem Aschen-% ab, und der A_2-Horizont (die Bleicherdeschicht) zeigt desto geringeren Phosphorsäureinhalt je mehr typisch er entwickelt ist. Im Boden Nr. 4 sind deshalb sowohl die A_1-Schicht als die A_2-Schicht ziemlich arm an Phosphorsäure. In der unteren Schicht (dem B-Horizonte) wird

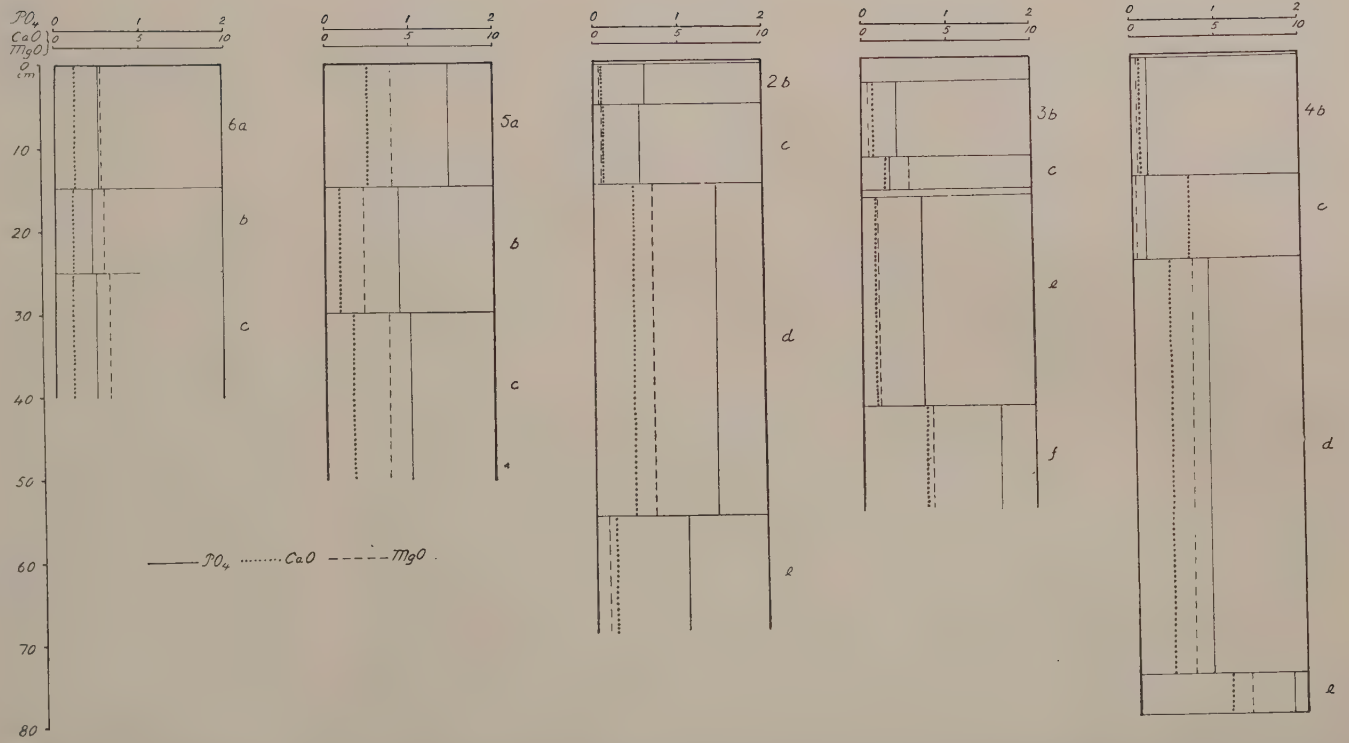


Fig. 27. Boden Nr. 6 a—c (Probe Nr. 35—37), Nr. 5 a—c (Probe Nr. 32—34), Nr. 2 b—e (Probe Nr. 18—21), Nr. 3 b—f (Probe Nr. 22—25) und Nr. 4 b—e (Probe Nr. 26—29). Das vertikale Wechseln von salzsäurelöslicher Phosphorsäure, Kalzium und Magnesium, in g pro l frischem Boden angegeben.

(Jord nr 6 a c (prøve nr. 35—37), nr. 5 a c (prøve nr. 32—34), nr. 2 b- e (prøve nr. 18—21), nr. 3 b f (prøve nr. 22—25) og nr. 4 b—e (prøve nr. 26 29). Den vertikale veksling av jordens saltsyreopløselige fosforsyre, kalsium og magnesium angitt i g pr. l naturlig jord).

überall eine bedeutende Steigerung der Phosphorsäuremenge (sowohl in Boden Nr. 2 und 3 als 4) konstatiert, und besonders charakteristisch kommt dies in Nr. 4 zum Ausdruck, wo in 75 cm Tiefe eine 3—5 cm dicke Ortsteinschicht angetroffen wird, die Maximum von Phosphorsäure zeigt.

Die Heideböden Nr. 6, 5, 2, 3 und 4 geben somit einen ganz charakteristischen Einblick darin, wie ein abnehmender Mineralinhalt der oberen Schicht, des A-Horizonts, Podsolierung, Rohumusbildung und Niederschlämmung der Phosphorsäure des A-Horizonts befördert: In den mineralreichen Heideböden Nr. 6 und 5

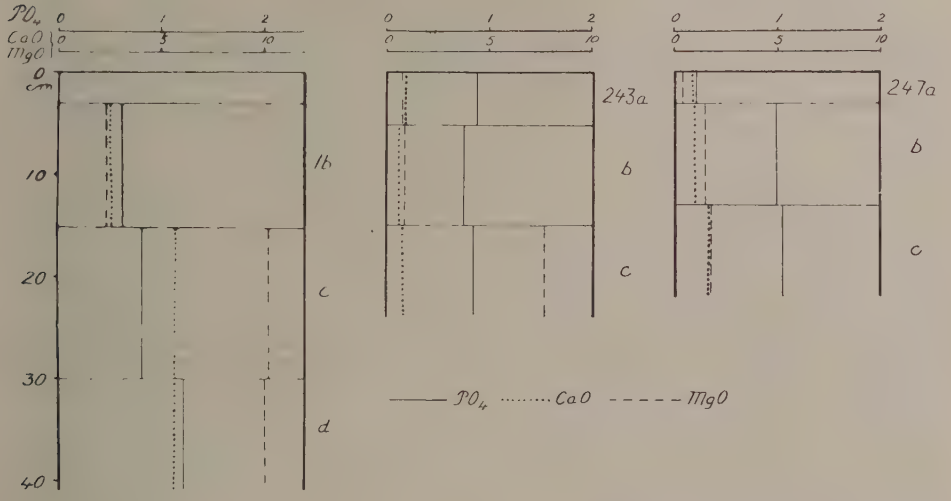


Fig. 28. Boden Nr. 1 b–d (Probe Nr. 4—6), Nr 243 a—c (Probe Nr. 10—12) und Nr. 247 a—c (Probe Nr. 14—16). Das vertikale Wechseln von salzsäurelöslicher Phosphorsäure, Kalzium und Magnesium, in g pro l frischem Boden angegeben.

(Jord nr. 1 b—d (prøve nr. 4—6), nr. 243 a—c (prøve nr. 10—12) og nr. 247 a—c (prøve nr. 14—16). Den vertikale veksling av jordens saltsyreopløselige fosforsyre, kalsium og magnesium angitt i g pr. l naturlig jord).

ist die Phosphorsäure mit der Tiefe relativ gleichmässig verteilt, in den weniger mineralreichen Heideböden Nr. 2, 3 und 4 enthält dagegen der A-Horizont am geringsten und der B-Horizont am meisten.

So ist das Verhältnis, wenn man die vertikale Verteilung der Phosphorsäure, in g pro l frischem Boden angegeben, betrachtet. Eine etwas andere Auffassung der Verhältnisse erhält man den A-Horizont betreffend, wenn die Phosphorsäure in mg pro 10 g trocknem Boden angegeben wird (siehe Tab. 2). Für die mineralreichen Böden Nr. 6 und 5 gilt fortwährend, dass die vertikale Verteilung im A- und B-Horizonte ziemlich gleichartig ist. Für die weniger mineralreichen Böden Nr. 2, 3 und 4 gilt dagegen, dass der trockene Boden des A_1-Horizonts an Phosphat ziemlich inhaltreich ist, dass aber die Menge abnimmt, je nachdem der Boden von losem Torf in Heide-Rohhumus übergeht, welches zeigt, dass der Phos-

phorsäureinhalt des A_1-Horizonts mit steigender Rohhumusbildung abnimmt. Der A_2-Horizont ist somit an Phosphorsäure am ärmsten, wo die obere Schicht aus Rohhumus besteht und wo die Bleicherdeschicht am meisten ausgeprägt ist, und sein Inhalt steigt allmählich, je weniger ausgeprägt die Bleicherdeschicht sich zeigt. Die untere Schicht (der B-Horizont) ist in allen Böden ziemlich mehr reich an Phosphorsäure und man beobachtet somit eine ähnliche, charakteristische Verteilung mit der Tiefe, als wenn die Phosphorsäure in g pro l frischem Boden angegeben wird.

Die Verhältnisse im Boden Nr. 1, dem Erlenwaldbodenprofil, gehen aus Fig. 28 hervor. Die vertikale Verteilung ändert sich in derselben Weise, sei die Phosphorsäure in g pro l frischem Boden oder in mg pro 10 g trocknem Boden (Tab. 2) angegeben. Die Menge der Phosphorsäure zeigt eine deutliche Steigerung mit der Tiefe, sie ist in den oberen Schichten am kleinsten (Nr. 4—5), während die untere graugelbe und lehmige Schicht (Nr. 6) den grössten Inhalt aufweist.

Der Birkenwaldboden Nr. 243 hat eine vertikale Verteilung seiner Phosphorsäure, wie in Figur 28 gezeigt. Die Phosphorsäure ist also mit der Tiefe einigermassen gleichmässig verteilt, wenn sie in g pro l frischem Boden angegeben wird, dagegen zeigt sie ein mit der Tiefe deutliches Abnehmen, wenn sie in mg pro 10 g trocknem Boden angegeben wird (siehe Tab. 2). Die Sesquioxydkolloide zeigen eine mit der Tiefe ausgeprägte Steigerung, und die vertikale Verteilung der Phosphorsäure, in g pro Volumeinheit angegeben, deutet darauf, dass auch hier eine langsame Niederschlämmung der Phosphorsäure des A-Horizonts stattfindet, denn die mittlere Schicht (Probe Nr. 11) enthält weniger von Phosphorsäure als die übrigen Schichten.

In dem Fichtenwaldboden Nr. 247 enthält die Humusschicht wenig Phosphorsäure, die sandhaltigen Mullschichten (Nr. 15 und 16) dagegen entschieden mehr, wenn die Phosphorsäure in g pro Volumeinheit Boden angegeben wird (siehe Fig. 28). Wird die Phosphorsäure dagegen in mg pro 10 g trocknem Boden angegeben, dann unterscheiden sich die obere und die untere Schicht bedeutend weniger (siehe Tab. 2). Eine mit der Tiefe schwach zunehmende Steigerung wird auch bei dem Boden Nr. 240 (den Proben Nr. 8—9) beobachtet, wenn die Phosphorsäuremenge pro Volumeinheit Boden angegeben wird.

Die räumliche Konzentration der Phosphorsäure in den Bodenschichten Westnorwegens steigt somit im allgemeinen mit der Tiefe und besonders klar geht dies aus den Bodenprofilen hervor, wo die Podsolierung typisch entwickelt ist. Die sauren Humuskolloide der oberen Schicht bewirken also, dass Phosphate allmählich niedergeschlämmt werden, diese erhalten aber die Gelegenheit an die Sesquioxydkolloide der unteren Schicht aufs neue gebunden zu werden. In einer Schicht, wo die Humussäurekolloide den Sesquioxyden gegenüber in Überschuss vorhanden sind, hat somit die Phosphorsäure die Gelegenheit vom Bodenwasser relativ leicht gelöst zu werden.

Kalzium und Magnesium.

Der Inhalt der Bodenasche von salzsäurelöslichem Kalzium und Magnesium geht aus Tabelle 2 hervor, wo Kalzium und Magnesium als Oxyd (CaO und MgO) angegeben sind. Die Tabelle gibt den Inhalt in g pro kg trocknem Boden und in g pro 1 frischem Boden berechnet.

Es geht hervor, dass die CaO-Menge, pro 1 Boden berechnet, zwischen 0,4 g (Nr. 38) und 5,7 g (Nr. 5 und 6) wechselt. (Es wird dann nicht auf Nr. 41 und 44 Rücksicht genommen; diese Böden sind nämlich gedüngt). Die Menge ist in den oberen Schichten einer Reihe Heidetorfböden (Nr. 2 b, 3 b, 4 b, 226) und Moorböden (Nr. 248, 241 b, 9) am geringsten, in einem Laub-Nadelwaldboden (Nr. 240) samt einem Heideboden (Nr. 6) ein wenig grösser, und in Laubwaldböden (Nr. 1 b, c, d, 239), in einem einzelnen Heideboden (Nr. 5) samt in den unteren Schichten einer Reihe Heidetorfböden (2 d, 3 f, 4 c, d, e) am grössten.

Ein ähnliches Wechseln zeigt auch das Magnesium, wenn die Menge pro 1 Boden angegeben wird. Die geringste Menge oder 0,19 g MgO pro 1 wird im Boden Nr. 9, die grösste Menge oder 10,27 g im Boden Nr. 1 c (der Probe Nr. 5) nachgewiesen. Die kleinsten Mengen kommen in den oberen Schichten einer Reihe Heideböden (Nr. 2 b, 3 b, 4 b, 226) und in Moorböden (Nr. 241 a, 248, 9) samt in einem Fichtenwaldboden (Nr. 247 a) vor; die Menge ist ein bischen grösser in Kiefer- und Birken-Kieferwald- (Nr. 238, 240 a) samt in einem Birkenwaldboden (Nr. 243) und sie ist am grössten in einer Reihe unterer Schichten (Nr. 240 d, 2 d, 4 d, 1 c—d, 243 c, 3 f, 4 e), samt in Laubwald- (Nr. 1), in Laub-Nadelwald- (Nr. 8) und mineralreichen Heideböden (Nr. 5, 6).

Die tabellarische Übersicht zeigt, dass eine Bodenprobe im allgemeinen mehr von MgO als von CaO enthält, sei die Oxydmenge in g pro 1 frischem Boden oder in g pro kg trocknem Boden angegeben. Von 40 untersuchten Proben enthalten somit die 29 mehr MgO. Dies Verhältnis ist für ausgelaugte Böden charakteristisch. Wird die vertikale Verteilung des Kalziums und Magnesiums betrachtet, wo es die Gelegenheit gibt das Bodenprofil näher zu studieren, so sieht man, dass die unteren Schichten im allgemeinen mehr Kalzium und Magnesium als die oberen Schichten enthalten. Wird somit die Verteilung in der graphischen Darstellung der Figuren 27—28 betrachtet, wo die Menge pro 1 frischem Boden angegeben ist, dann geht hervor: 1. wie in der Bodenschicht im allgemeinen mehr MgO als CaO vorhanden ist, 2. dass die CaO- und MgO-Mengen mit der Tiefe steigen und 3. dass im allgemeinen eine deutliche Übereinstimmung d. h. Parallelität des vertikalen Wechselns von Kalzium, Magnesium und Phosphorsäure herrscht. Die Übereinstimmung des vertikalen Wechselns dieser Stoffe ist freilich durch Auslaugen und Niederschlämmung verursacht. Was früher S. 64—68 die vertikale Verteilung der Phosphorsäure betreffend, hervorgehoben ist, kann somit auch für die vertikale Verteilung von Kalzium und Magnesium als geltend angesehen werden.

Löslichkeit der Bodenphosphorsäure bei wechselndem Kolloidinhalt und wechselnder Reaktion des Bodens.

Der wechselnde Inhalt des Bodens von Basoiden (Sesquioxyden) und Azidoiden (Humussäure und Kieselsäure) spielt, wie man aus dem früheren gesehen hat, eine wichtige Rolle für seine Fähigkeit, Phosphorsäure binden oder abgeben zu können. Man hat dann auch die Erfahrung, dass Zufuhr von kolloidaler Kieselsäure und Humussäure (Torf) die Phosphorsäureassimilation der Mikroorganismen und Pflanzen befördern kann. Was die Kieselsäure betrifft, kann dies ihrer Fähigkeit sowohl kolloiddisperse Sesquioxyde als ionendisperse Basen, wie CaO, binden und desaktivieren zu können, zugeschrieben werden; hierdurch erhält die an diesen Basen gebundene Phosphorsäure die Gelegenheit freigemacht zu werden (siehe Fig. 4—6). Dass die kolloidale Kieselsäure dies auch vermag, wenn sie einem Bodenkomplexe zugesetzt wird, geht aus folgendem Versuche hervor.

Einwirkung kolloidaler Kieselsäure.

Bei dem Versuche wird Boden Nr. 8, in Tabelle 2 als Probe Nr. 3 aufgeführt, benutzt. Unter den aus der oberen Schicht entnommenen Proben enthält nämlich diese Probe die kleinste Menge von Humussäurekolloiden und sie ist gleichzeitig reich an Sesquioxydkolloiden. Sie hat somit einen sehr grossen Überschuss von Basoiden im Verhältnis zu Azidoiden (siehe Tab. 13).

Der Boden gibt bei seiner aktuellen Reaktion, der Reaktionszahl 4,18, keine nachweisbare Mengen von wasserlöslicher Phosphorsäure ab. Er hat auch eine starke Fähigkeit dazu seine Phosphorsäure innerhalb eines grossen Reaktionsgebietes festhalten zu können. Dies wird später S. 84 u. flg. näher besprochen, indem gezeigt wird, dass der Boden innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes 3,2—7,8 keine nachweisbare Mengen von Phosphorsäure abzugeben vermag (siehe Fig. 33 a).

In dem folgenden Versuche wird die Reaktion des Bodens durch Zusatz passender Mengen von Salzsäure oder Kalkwasser, $Ca(OH)_2$, zum Wechseln gebracht. Durch Zusatz der Kalkbase wird weiter erzielt, dass die Löslichkeitsbedingungen der Bodenphosphorsäure bei Reaktionswerten grösser als za. 5,5 noch geringer als zuvor werden (vergl. Fig. 1—2). Der Boden Westnorwegens ist nämlich, wie schon früher hervorgehoben, arm an wasserlöslichen ionendispersen Basen, und um die Einwirkung der kolloiden Kieselsäure zu untersuchen, wenn der Boden auch verschiedenes von Kalzium enthält, werden dem Boden wechselnde Mengen von Kalkwasser zugesetzt.

Es wird eine Serie von wässerigen Bodenschlämmungen hergestellt; in jedem Pulverglas der Serie werden 5 g von trocknem Boden eingewogen, denen im ganzen 100 ml Flüssigkeitsmischung, aus Wasser und Salzsäure oder Kalkwasser bestehend, zugesetzt werden. Diese Versuchsserie, Serie A, steht 24 Stunden und wird während dieser Zeit sowohl beim Anfang als beim Abschluss im Schüttelapparat 1 Stunde geschüttelt. Sodann wird die Reaktionszahl der Aufschlämmungen bestimmt und in den Ultrafiltraten wird der Inhalt von Phosphorsäure festgestellt.

Entsprechende Versuchsserien werden auch unter Zusatz einer passenden Menge kolloidaler Kieselsäure durchgeführt. Hierzu wird eine Natriumsilikat-Lösung benutzt, die pro ml 0,0620 g oder 2,068 mg-Äquiv. SiO_2 enthält. Nun enthalten 5 g von trocknem Boden Nr. 8 10,35 mg-Äquiv. Sesquioxydkolloide (siehe Tab. 13) und deshalb wird in der folgenden Serie, Serie B, eine Kieselsäuremenge zugesetzt, die mit dem Sesquioxydkolloidinhalt der Bodenprobe äquivalent ist. Die Versuchsserie wird der Serie A ganz entsprechend hergestellt und behandelt, und nach einem Tage analysiert. In der Serie B haben somit die Kieselsäurekolloide die Gelegenheit dazu, auf den Bodenkomplex nur eine kurzdauernde Einwirkung auszuüben. Es werden deshalb noch 2 Serien, die Serien C und D, hergestellt, und hier erhält die Kieselsäure die Gelegenheit, während längerer Zeit einzuwirken. Die eine Serie, Serie C, entspricht der Serie B, indem hier eine mit den Sesquioxydkolloiden äquivalente Kieselsäuremenge zugesetzt wird. Der anderen Serie, Serie D, wird dagegen ein passender Überschuss von Kieselsäure zugesetzt, nämlich eine dreimal so grosse Menge als die den Serien B und C zugesetzte. Die Serien C und D stehen 33 Tage. Es wird den ersten und letzten Tag 1 Stunde und übrigens eine kurze Zeit jeden zweiten Tag im Laufe der 33 Tage im Schüttelapparat geschüttelt. In allen Serien wird das Mischen der Komponente in folgender Reihenfolge vorgenommen:

$$a \text{ ml } H_2O + b \text{ ml } Ca(OH)_2 + c \text{ ml } HCl + d \text{ ml } Na_2SiO_3 + 5 \text{ g von trocknem Boden} + 1 \text{ ml Toluol}$$

und es werden mindestens zwei — in der Regel drei — parallele Serienversuche durchgeführt.

Das Resultat der Untersuchungen der Serien A—D ist in Tabelle 11 aufgeführt und in den Figuren 29—31 graphisch dargestellt.

Die Versuche zeigen, dass die zugeführten Kieselsäurekolloide schon nach kurzdauernder Einwirkung (1 Tag) Bodenphosphorsäure unterhalb des Reaktionswertes za. 3,5 und oberhalb za. 5, aber nicht im Gebiete 3,5—5, freizumachen vermögen (siehe Fig. 29). Im Gebiete 3,5—5 sind also die Sesquioxydkolloide des Bodens der Kieselsäure am meisten hinderlich. Frühere Versuche (siehe Fig. 4—5) zeigen dann auch, dass die Eisen- und Aluminiumhydroxydkolloide eben in diesem Reaktionsgebiete am schwersten desaktiviert werden. Es geht somit hervor, dass es die Sesquioxydkolloide sind, die die Phosphorsäure im Boden Nr. 8 binden. Erhält aber die zugesetzte Kieselsäure die Gelegenheit, längere Zeit (33 Tage) einzuwirken, dann steigt die Löslichkeit der Phosphorsäure etwas (siehe Fig. 30) und nun kann in der ganzen Reaktionsskala (bis auf ein kleines Gebiet bei za. 4) gelöste Phosphorsäure nachgewiesen werden. Das Löslichkeitsminimum liegt bei der Reaktionszahl za. 4, d. h. gerade bei der Reaktion, wo sich die Eisen- und Aluminiumhydroxyde am stärksten geltend machen (siehe Fig. 4—5). Unterhalb 4 lösen sich bei abnehmender und oberhalb 4 bei zunehmender Reaktionszahl steigende Mengen von Phosphorsäure, bis die Reaktionszahl sich za. 6,7 nähert. Bei noch grösseren

Tabelle 11.

Serie A.

a ml H_2O + b ml 0.04488 n $Ca(OH)_2$ + c ml 0.1 n HCl + 5 g trockner Boden.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ml H_2O	50.0	60.0	75.0	85.2	94.3	97.7	100.0	99.5	98.5	94.0	82.0	70.0
ml 0.04488n $Ca(OH)_2$	50.0	40.0	25.0	14.8	5.7	2.3	0					
ml 0.1n HCl								0.5	1.5	6.0	18.0	30.0
pH	8.20	8.14	7.46	6.82	6.08	5.20	4.48	4.22	4.04	3.52	2.97	2.46
mg PO_4 gelöst	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Serie B.

a ml H_2O + b ml 0.04488n $Ca(OH)_2$ + c ml 0.09942 n HCl + 5 ml Na_2SiO_3 (= 10.34 mg-Äquiv. SiO_2) + 5 g trockner Boden.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ml H_2O	30.2	40.2	55.2	65.4	74.5	77.9	80.2	79.7	78.7	74.2	62.2	50.2
ml 0.04488n $Ca(OH)_2$	50.0	40.0	25.0	14.8	5.7	2.3	0.0					
ml 0.09942n HCl	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	15.3	16.3	20.8	32.8	44.8
ml Na_2SiO_3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
pH	6.95	6.85	6.43	5.85	4.90	4.60	4.35	4.05	3.95	3.55	3.05	2.60
mg PO_4 gelöst	0.0864	0.0934	0.0560	0.0233	0	0	0	0	0	0	0.0280	0.0560

Serie C.

a ml H_2O + b ml 0.04488n $Ca(OH)_2$ + c ml 0.10048n HCl + 5 ml Na_2SiO_3 (= 10.34 mg-Äquiv. SiO_2) + 5 g trockner Boden.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ml H_2O	13.0	23.0	43.0	58.0	68.2	77 3	80.7	83.0	82.5	81.5	77.0	65.0	53.0
ml 0.04488n $Ca(OH)_2$	70.0	60.0	40.0	25.0	14.8	5.7	2.3	0					
ml 0.10048n HCl	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12 5	13.5	18.0	30.0	42.0
ml Na_2SiO_3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
pH	7.30	7.25	7.15	7.0	6.90	6.75	6.65	6.60	4.60	4.20	3.90	3.40	3.25
mg PO_4 gelöst	0.237	0.213	0.260	0.190	0.237	0.353	0.425	0.109	0.018	0.005	0	0.018	0.028

Serie D.

a ml H_2O + b ml 0.04488n $Ca(OH)_2$ + c ml 0.10048n HCl + 15 ml Na_2SiO_3 (= 31.02 mg Äquiv. SiO_2) + 5 g trockner Boden.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ml H_2O	0	7.0	17.0	27 0	42 0	52.2	61.3	67.0	66.5	61.0	49.0	37.0
ml 0.004488n $Ca(OH)_2$	70.0	60.0	50.0	40.0	25.0	14.8	5.7	0				
ml 0.10048n HCl								0	0.5	6.0	18.0	30.0
ml Na_2SiO_3	15 0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
ml HCl	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
pH	6.50	6.40	6.25	6.00	5.00	4.25	3.75	3.65	3.60	3.45	3.15	3.05
mg PO_4 gelöst	0.117	0.144	0.065	0 051	0.004	0.013	0.028	0.030	0.015	0.028	0.023	0.065

Reaktionszahlen nimmt die Menge der gelösten Phosphorsäure ab, denn hier fängt die zugesetzte Kalkbase an sich geltend zu machen. Nun sind nämlich der Bodenschlämmung verhältnismässig bedeutende Mengen von Kalzium zugesetzt (siehe Tab. 11) und wie aus früheren Untersuchungen hervorgeht (siehe Fig. 6), ist eben der Kalk der hier einwirkende Faktor. Kalziumsilikate sind ja in Wasser bei basischer Reaktion recht schwer löslich, und werden deshalb Lösungen von Alkalisilikaten und Kalziumverbindungen gemischt, dann kann eine Umsetzung stattfinden, wodurch Kalziumsilikate gefällt werden. Das Abnehmen der Phosphorsäurelöslichkeit oberhalb des Reaktionsgebietes za. 6,5 rührt somit von der Ein-

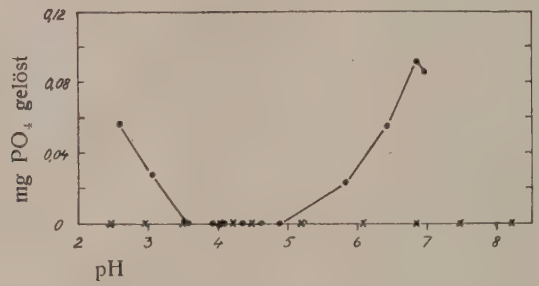


Fig. 29. Die Einwirkung der Kieselsäure auf die Bodenphosphorsäure. Versuche mit Boden Nr. 8 (Probe Nr. 3). Die Verbindung zwischen Reaktion und gelöster Phosphorsäure, wenn dem Boden entweder keine Kieselsäure (×), oder eine mit seinen Sesquioxydkolloiden äquivalente Menge Kieselsäure (•) zugesetzt wird.

(Kiselsyrens innvirkning på jordens fosforsyre. Forsøk med jord nr. 8 (prøve nr. 3). Forbindelsen mellem reaksjon og opløst fosforsyre, når jorden enten ikke tilsettes kiselsyre (×) eller tilsettes en med dens sesquioxydkolloider ekvivalent mengde (•).

wirkung der zugesetzten Kalkbase her, die nun auch die Kieselsäure zu binden anfängt, wodurch diese desaktiviert wird, so dass eine Freimachung der Phosphorsäure verhindert wird. Eine zu starke Kalkung des Bodens kann also auch deshalb schädlich sein, weil der Kalk die Bodenazidoide (die Kieselsäure und die Humussäuren) desaktiviert.

Wie ein Überschuss von Kieselsäurekolloiden einwirkt, geht durch Vergleichung der Serien C und D hervor (Fig. 31). Bei ein und demselben Reaktionswert wird sozusagen dieselbe Menge Phosphorsäure freigemacht, sei eine äquivalente Menge (Serie C) oder Überschuss von Kieselsäure (Serie D) zugesetzt. Dies muss freilich so erklärt werden, dass allein die Phosphorsäure, die in unmittelbarer Nähe der Oberfläche der Bodenkolloide d. h. an deren aktivem Teil gebunden vorkommt, die Gelegenheit hat freigemacht zu werden und hierzu genügt augenscheinlich schon eine mit den vorhandenen Sesquioxyden äquivalente Menge Kieselsäure. Sollen somit noch grössere Mengen von Phosphorsäure gelöst werden können, dann müssen die Bodenkolloide mehr feindispergiert werden. Hier trifft man also wieder auf das Verhältnis, dass der Zustand der Bodenkolloide für ihre

Reaktionsfähigkeit von grosser Bedeutung ist. Es ist immer nur ein gewisser — der aktive, reaktionsfähige — Teil der Kolloide, der in den Stoffumsetzungen des heterogenen Systems Boden—Wasser teilnimmt.

Im Boden Westnorwegens sind die Kieselsäurekolloide (mit den Sesquioxyden im Vergleich) im allgemeinen relativ sparsam vorhanden. Der Einfluss der Kieselsäurekolloide auf die Freimachung der Phosphorsäure lässt sich somit hier nicht

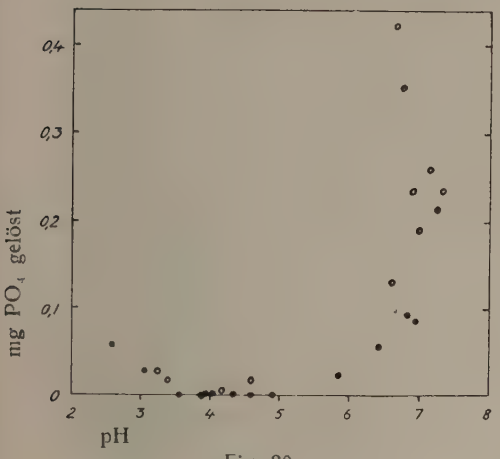


Fig. 30.

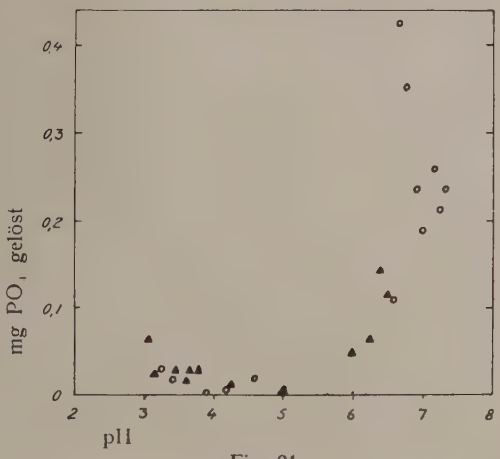


Fig. 31.

Fig. 30. Die Einwirkung der Kieselsäure auf die Bodenphosphorsäure. Versuche mit Boden Nr. 8 (Probe Nr. 3). Die Verbindung zwischen Reaktion und gelöster Phosphorsäure, wenn die zugesetzte Kieselsäure während kurzer Zeit (•) und während längerer Zeit (o) einwirkt.

(Kiselsyrens innvirkning på jordens fosforsyre. Forsøk med jord nr. 8 (prøve nr. 3). Forbindelsen mellem reaksjon og opløst fosforsyre, når den tilsatte kiselsyre får innvirke i kort tid (•) og i lengere tid (o)).

Fig. 31. Die Einwirkung der Kieselsäure auf die Bodenphosphorsäure. Versuche mit Boden Nr. 8 (Probe Nr. 3). Die Verbindung zwischen Reaktion und gelöster Phosphorsäure, wenn die Kieselsäure während längerer Zeit einwirkt und in mit den Bodensesquioxydkolloiden äquivalenter Menge (o) oder in Überschuss (▲) zugesetzt wird.

(Kiselsyrens innvirkning på jordens fosforsyre. Forsøk med jord nr. 8 (prøve nr. 3). Forbindelsen mellem reaksjon og opløst fosforsyre når kiselsyren får virke i lengere tid og tilsettes i ekvivalent mengde med jordens sesquioxydkolloider (o) og i overskudd (▲))

direkt nachweisen. Der Einfluss der Humussäurekolloide kann aber direkt nachgewiesen werden, denn diese sind den Sesquioxydkolloiden gegenüber in vielen Bodenproben oft in bedeutendem Überschuss vorhanden (siehe Tab. 13).

Einwirkung kolloidaler Humussäure.

Während es keine Schwierigkeiten bietet, eine kolloidale Kieselsäurelösung (resp. Natriumsilikat) frei von nachweisbarer Phosphorsäure herzustellen, ist es sozusagen unmöglich sich eine kolloidale Lösung natürlicher Humussäure, frei von Phosphorsäure, zu verschaffen; trotz mehrerer Versuche ist es uns nicht gelungen

ein solches Präparat herzustellen. Dies ist auch erklärlich, wenn man die Humussäuren als Komplexe von Ligninen und Proteinen betrachtet (siehe S. 49—50). Man könnte freilich syntetische Humussäurepräparate aus Phosphorsäurefreien organischen Stoffen herstellen, z. B. durch eine der Methoden, die von W. Eller[16]) angegeben ist; da aber solche Präparate die Präparate aus natürlichem Torfboden nicht vollständig ersetzen können, so sind sie hier nicht benutzt. Wir haben somit nur einige Untersuchungen über die Fähigkeit der natürlichen Humussäurekolloide, die Sesquioxydkolloide und die Kalk- und Magnesiumbasen des Bodens zu desaktivieren, ausgeführt.

Der Austauschäquivalent der Humussäure wird im allgemeinen zu 3 Milligramäquivalenten pro g Humussäure angegeben (Odén gibt z. B. 2,994, Mattson 2,857 an). Dieser Wert 3 wird im folgenden bei Umrechnung der Humussäurekolloide von g zu mg-Äquiv. benutzt. Eine wässerige Lösung von Natriumhumat wird auf folgende Weise hergestellt: 200 g »Azidum huminicum«, Merck, werden einen passenden Überschuss von Natriumhydroxyd oder 800 ml wässerige 1 n NaOH-Lösung zugesetzt, 3 Tage auf Wasserbad behandelt, und sodann mit Wasser bis zu 4 l verdünnt. Eine in dieser Weise hergestellte Na-Humatlösung enthält sowohl anorganisch als organisch gebundene Phosphorsäure. Die von uns hier benutzte Lösung enthält pro 50 ml (= 2,5 g Humussäure) eine Totalmenge PO_4 gleich 2,83 mg, von welcher za. 0,25 mg in wasserlöslichem Zustand vorkommt.

Portionen von 5 g trocknem Boden werden 50 ml dieser Na-Humatlösung samt Wasser und — um wechselnde Reaktionszahl hervorzurufen — wechselnde Mengen von Salzsäure oder Natronlauge zugesetzt, und in der Weise, dass das totale zugesetzte Flüssigkeitsvolumen 100 ml beträgt.

Um übereinstimmende Resultate bei dem Analysieren der Parallelproben und damit reproduzierbare Analysen zu erhalten muss die Na-Humatlösung in einer bestimmten Reihenfolge und immer in derselben Weise mit der Bodenprobe und den übrigen Komponenten gemischt werden, wenn nicht die Bodenpartikeln von den Humussäurekolloiden mehr oder weniger ungleich umhüllt und die Umsetzungsprozesse entsprechend ungleich werden sollen. Weiter muss die Bodenprobe in ganz gleichartigen 5 g-Portionen mit so gleichförmiger Partikelgrösse wie möglich vorliegen, und die Partikeln dürfen nicht die Gelegenheit erhalten, sich während des Mischens zusammenzuballen. Die Komponente werden deshalb in der Reihenfolge gemischt:

a ml H_2O + 5 g von trocknem Boden + b ml 0,1 n NaOH + c ml 0,1 n HCl + d ml 1 n HCl + 1 ml Toluol.

Es wird sodann 30 Minuten im Schüttelapparat geschüttelt und dann erst werden die 50 ml Natriumhumatlösung unter ständigem Umrühren zugetropft, wonach aufs neue 1 Stunde geschüttelt wird.

In den kurzdauernden Serien A—E steht die Aufschlämmung 4 Tage. Der zweite und dritte Tag wird eine halbe Stunde, der vierte Tag 1 Stunde geschüttelt.

[16]) W. Eller, Liebigs Annalen d. Chemie, 431—32, 1923, S. 133 und 148.

Dann werden die Reaktion der Aufschlämmung und nach dem Ultrafiltrieren der Phosphorsäureinhalt der Flüssigkeitsphase festgestellt. In den 34 Tage dauernden Serien F—G wird in derselben Weise vorgegangen, aber die Aufschlämmung dieser Serien wird ausserdem während der Versuchszeit jeden zweiten Tag eine kurze Weile geschüttelt.

Um so gleichartige Filtrationsbedingungen wie möglich zu erreichen werden alle Proben einer Versuchsserie — und in der Reihenfolge nach steigender Reaktionszahl — durch ein und dasselbe Ultrafilter filtriert. Bei dem Filtrieren gehen je nach der wechselnden Reaktionszahl der Aufschlämmung variierende Mengen von Humuskolloiden durch das Ultrafilter. Es besteht indessen kein nachweisbarer Zusammenhang zwischen dem Ultrafiltratinhalt von organischem Stoff und der im Ultrafiltrate gelösten Phosphorsäuremenge. Ehe diese bestimmt wird, werden die Ultrafiltrate zu ein und derselben Reaktion, nämlich der Reaktionszahl 2,2 gebracht (Thymolblau und Zutropfen von HCl), wodurch die organischen Kolloide (mit ihrer organisch gebundenen Phosphorsäure) gefällt werden. Danach wird aufs neue durch ein und dasselbe Ultrafilter filtriert. In dem auf diese Weise erhaltenen Filtrate wird die gelöste Phosphorsäure bestimmt.

Das hier benutzte Humussäurepräparat enthält pro 2,5 g (= 7,5 mg-Äquiv. Humussäure) 0,402 mg-Äquiv. Fe, 0,310 mg-Äquiv. Al, 0,097 mg-Äquiv. Ca und Spuren von Mg. Die aus dem Präparate hergestellte Na-Humatlösung enthält ausserdem, wie früher erwähnt, pro 50 ml (= 2,5 g Humussäure) 2,83 mg PO_4, von welchen za. 0,25 mg als wasserlösliche Phosphorsäure vorkommt, während za. 2,6 mg organisch gebunden sind. Wenn 50 ml Na-Humatlösung mit 5 g der Bodenprobe gemischt werden, wird also dem Boden 0,25 mg wasserlösliche Phosphorsäure zugeführt, und als den meist extremen Fall kann man sich ja denken, dass die organisch gebundene Phosphorsäure auch freigemacht wird und sich mit dem Boden umsetzt. Auf jeden Fall werden aber mit den 50 ml Na-Humatlösung dem Boden nicht mehr als 2,83 mg PO_4 zugesetzt.

Es ist nun von Interesse zu untersuchen, wie die 5 g Boden sich bei wechselnder Reaktionszahl verhalten: 1. Wenn ihnen kein Phosphat zugeführt wird — Serie A, 2. Wenn ihnen 0,5 mg PO_4 als Na_2HPO_4 zugesetzt wird, d. h. ein wenig mehr als die wasserlösliche Phosphorsäuremenge, die das zugesetzte Na-Humat enthält — Serie B, 3. Wenn ihnen 2,83 mg PO_4 als Na_2HPO_4 zugeführt werden, d. h. eine Phosphatmenge gleich dem totalen Phosphatinhalt des zugesetzten Na-Humats — Serie C und 4. Wenn ihnen 50 ml Na-Humatlösung zugeführt werden, die im ganzen 2,83 mg PO_4 enthalten, von welchen also 0,25 mg wasserlöslich ist — Serie D.

Bei diesen Versuchen benutzen wir einen Lehmboden (aus Halmbraaten in der Nähe von Oslo, Ostnorwegen), der sozusagen keinen sauren Humus und nur ganz kleine Mengen von organischem Stoff enthält. Die Eigenschaften des Bodens gehen aus folgenden Daten hervor:

Reaktionszahl = 6,0, Glühverlust = 7,14 %, Asche = 92,86 %. Pro 5 g trocknem Boden gibt es 3,40 mg salzsäurelösliche PO_4, 20,45 mg salzsäurelösliches

CaO und 58,45 mg salzsäurelösliches MgO. Pro kg trocknem Boden gibt es folgende Kolloidmengen: 361 mg-Äquiv. Fe_2O_3, 385 mg-Äquiv. Al_2O_3, 25 mg-Äquiv. SiO_2 und 42 mg-Äquiv. Humus. Es ist somit ein Überschuss von Basoiden gleich 679 mg-Äquiv. pro kg trocknem Boden vorhanden. Der Boden enthält also einen ganz grossen Überschuss von Basoiden und das Verhältnis mg-Äquiv. Azidoide/mg-Äquiv. Basoide oder A : B ist gleich 0,09. Werden indessen 50 ml Na-Humatlösung (= 7,5 mg-Äquiv. Humussäure) pro 5 g Boden zugesetzt, dann ändert sich das Verhältnis A : B zu za. 2, d. h. in dem Fall kommen die Azidoide in Überschuss vor.

Es ist somit von Interesse, das Phosphorsäurebindungsvermögen des Bodens zu untersuchen, sowohl wenn er allein, d. h. mit einem Überschuss von Basoiden auftritt, als wenn ihm Humussäurekolloide zugesetzt werden, so dass ein Überschuss von Azidoiden vorhanden ist.

In den Versuchsserien enthält das einzelne Pulverglas 5 g von trocknem Boden und 100 ml Flüssigkeitsmischung, und die Komponente werden in der Reihenfolge gemischt, in welcher sie in Tabelle 12 für jede Serie angegeben sind. Die bei einer gegebenen Reaktion gelöste Phosphorsäuremenge ist als mg PO_4 pro 100 ml Flüssigkeitsmischung angegeben.

Es werden, wie früher erwähnt, 5 kurzdauernde Serien, die Serien A—E, mit Versuchszeit 4 Tagen, und 2 langandauernde Serien, die Serien F—G, mit Versuchszeit 34 Tagen ausgeführt. Das Resultat dieser Versuche ist in Tabelle 12 zusammengestellt und in Figur 32 graphisch wiedergegeben.

Aus den kurzdauernden Versuchen geht folgendes hervor:

Die Serie A (resp. Kurve A) zeigt, dass der Boden in dem Reaktionsgebiete 3,5—6,8 sozusagen keine Phosphorsäure abgibt. Unterhalb der Reaktionszahl 3,5 gibt er nur sehr kleine Mengen (die nicht 0,023 mg übersteigen) ab, selbst wenn die Reaktionszahl bis auf 1,9 sinkt. Oberhalb 6,8 werden auch nur kleine Mengen abgegeben, diese steigen aber merkbar je nachdem die Reaktionszahl gegen 8,6 geht. Der Boden zeigt somit eine starke Fähigkeit seine Phosphorsäure festzuhalten und dies rührt von dem relativ grossen Inhalt von Sesquioxydkolloiden und auch von Kalk und Magnesia her, während der Azidoidinhalt dagegen gering ist (siehe oben). Der Boden hat auch eine starke Fähigkeit, zugeführte Phosphate zu binden. Dies geht aus der Serie B (resp. Kurve B) hervor, wo 0,5 mg PO_4 zugesetzt wird. Die Bindungsfähigkeit ist gross im Reaktionsgebiete 2—7 und besonders im Gebiete 3—5, welches unzweifelhaft den Sesquioxydkolloiden zu verdanken ist. Werden darum relativ bedeutende Mengen Phosphorsäure oder 2,83 mg PO_4 zugeführt, Serie C (resp. Kurve C), so verläuft die Bindung am meisten umfassend gerade in dem Gebiete, wo die Sesquioxydkolloide sich am stärksten geltend zu machen vermögen, nämlich bei der Reaktionszahl za. 3—4 (vergl. Fig. 1—2).

Die Fähigkeit des benutzten Na-Humats, Phosphorsäure abzugeben, Serie E (resp. Kurve E), ist, wie man ersieht, innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes 2—8 einigermassen konstant. Wird aber Natriumhumat dem Boden zugesetzt, Serie D

(resp. Kurve D), dann zeigt sich, dass Phosphorsäure innerhalb des ganzen untersuchten Reaktionsgebietes 2—8 aus dem Boden freigemacht wird. Es kommt nämlich nun bei jeder einzelnen Reaktionszahl des ganzen Gebietes 2 — za. 7,5 mehr gelöste Phosphorsäure vor als die Summe der Mengen, die der Boden und das Na-Humat jeder für sich hier abzugeben vermögen. Das Wechseln der Löslichkeit

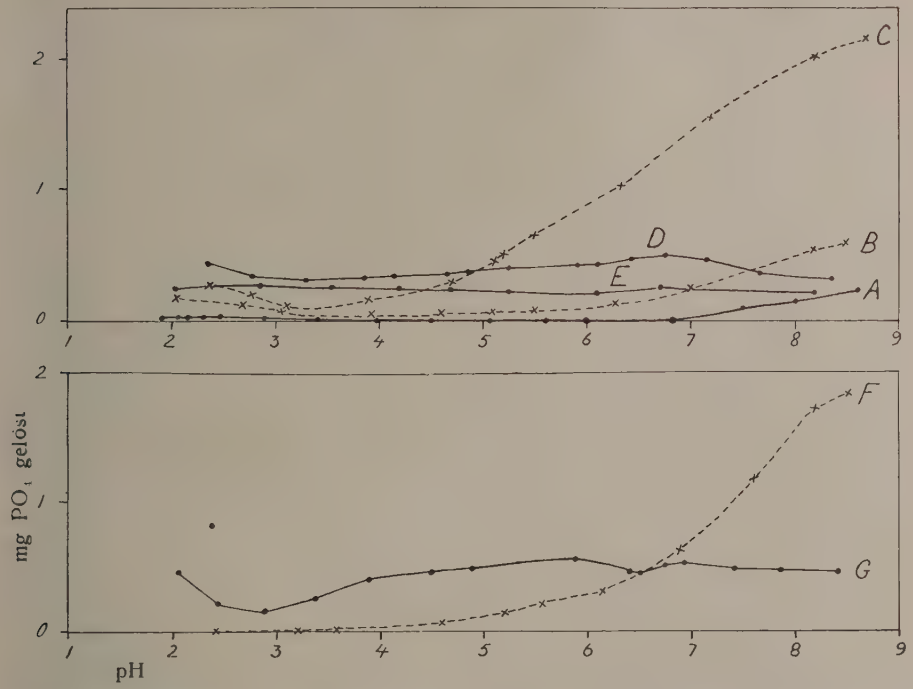


Fig. 32. Die Einwirkung der Humussäure auf die Bodenphosphorsäure. Versuche mit einem Lehmboden aus Ostnorwegen. Die Verbindung zwischen Reaktion und gelöster Phosphorsäure:
a. In den kurzdauernden Versuchsserien A—E.
b. In den langandauernden — F—G.

(Humussyrens innvirkning på jordens fosforsyre. Forsøk med en lerjord fra Østnorge. Forbindelsen mellem reaksjon og opløst fosforsyre:
a. I de kortvarige forsøksserier A—E.
b. I de langvarige — F—G).

mit der Reaktionszahl zeigt, dass die Sesquioxyde des Bodens sich merkbar geltend machen, bis die Reaktionszahl bis zu za. 7 gestiegen ist, während oberhalb dieses Werts sein Kalzium (und Magnesium) sich geltend macht (vergl. Kurve 3 in Fig. 2). Dies Resultat wird übrigens auch durch einige kontrollierende kurzdauernde Versuche bei wechselnder Reaktionszahl bestätigt, in denen wir eine Menge von Sesquioxyd(Fe, Al)- und Ca-Chloriden, dem Inhalt in 5 g Boden entsprechend, benutzen und hierzu Phosphorsäure (Na_2HPO_4) gleich der in der benutzten 50 ml Na-Humatlösung wasserlöslichen Menge setzen.

Tabelle 12.

Serie A.

5 g Boden + a ml H_2O + b ml 0.1n HCl + c ml 0.1n NaOH.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
pH	8.6	8.0	7.5	6.85	6.0	5.6	5.1	4.5	3.95	3.4	2.85	2.4	2.3	2.15	2.05	1.9
mg PO_4 gelöst	0.244	0.152	0.094	= 0.01	0	0	0	0	Spuren	= 0.01	0.015	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023

Serie B.

5 g Boden + a ml H_2O + b ml 0.1n HCl + c ml 0.1n NaOH + 2 ml Na_2HPO_4-Lösung (= 0.5 mg PO_4).

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	8.5	8.2	7.0	6.3	5.5	5.2	5.1	4.6	3.95	3.05	2.7	2.05
mg PO_4 gelöst	0.572	0.548	0.244	0.128	0.041	0.035	0.035	0.023	0.029	0.046	0.116	0.195

Serie C.

5 g Boden + a ml H_2O + b ml 0.1n HCl + c ml 0.1n NaOH + 11.2 ml Na_2HPO_4-Lösung (= 2.83 mg PO_4).

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	8.7	8.2	7.2	6.35	5.5	5.2	5.1	4.7	3.9	3.1	2.75	2.35
mg PO_4 gelöst	2.16	2.04	1.56	1.00	0.641	0.497	0.442	0.314	0.175	0.104	0.210	0.268

Serie D.

5 g Boden + a ml H_2O + b ml 1n HCl + c ml 0.1n HCl + d ml 0.1n NaOH + 50 ml Na-Humat (enthält 2.83 mg PO_4).

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pH	8.35	7.65	7.15	6.75	6.45	6.10	5.90	5.25	4.85	4.65	4.15	3.85	3.3	2.75	2.35
mg PO_4 gelöst	0.306	0.363	0.458	0.502	0.456	0.419	0.415	0.402	0.384	0.362	0.339	0.326	0.310	0.348	0.414

Serie E.

a ml H_2O + b ml 1n HCl + c ml 0.1n HCl + d ml 0.1n NaOH + 50 ml Na-Humat (enthält 2.83 mg PO_4).

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	8.2	6 7	6.10	5.25	4.7	4.2	3.55	2.85	2.05
mg PO_4 gelöst	0.208	0 250	0.214	0.226	0.232	0.246	0.266	0.264	0.256

Serie F.

5 g Boden — a ml H_2O + b ml 0.1n HCl + c ml 0.1n NaOH + 5.0 ml Na_2HPO_4-Lösung (= 2.83 mg PO_4).

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	8.5	8.2	7.6	6.9	6.15	5.55	5 2	4.6	3.55	3.2	2.75	2 4
mg PO_4 gelöst	1.83	1.74	1.17	0.616	0.298	0.198	0.140	0.0525	0	0	Spuren	Spuren

Serie G.

5 g Boden + a ml H_2O + b ml 1n HCl + c ml 0.1n HCl + d ml 0.1n NaOH + 50 ml Na-Humat (enthält 2.83 mg PO_4).

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pH	8.4	7.85	7.4	6.95	6.75	6.5	6.4	5.9	4.9	4.5	3.9	3.4	2.9	2.45	2.05
mg PO_4 gelöst	0.432	0.454	0.491	0.523	0.488	0.434	0.432	0.565	0.484	0.454	0 398	0.233	0.163	0.209	0.442

Trotz dass also die zugesetzten Humussäurekolloide sowohl auf die Sesquioxydkolloide des Bodens als auf sein Kalzium desaktivierend einwirken, so zeigt das Wechseln der wasserlöslichen Phosphorsäure (Serie D, resp. Kurve D), dass diese Stoffe sich fortgesetzt merkbar geltend machen und gerade innerhalb der Reaktionsgebiete, die man erwarten könnte (vergl. Fig. 1—2).

Denkt man sich endlich den extremen Fall, dass auch all die organisch gebundene Phosphorsäure des zugesetzten Na-Humats freigemacht wird und sich mit dem Boden umsetzt, dann geht hervor, dass selbst wenn dies stattfinden würde, würde dennoch die desaktivierende Fähigkeit der Humussäurekolloide sich unterhalb der Reaktionszahl 5 merkbar geltend machen (siehe Fig. 32). Die Menge der gelösten Phosphorsäure ist nämlich in diesem Gebiete fortwährend grösser als die Menge, die gelöst vorkommt, selbst wenn ganze 2,83 mg wasserlösliche Phosphorsäure pro 5 g Boden zugeführt werden (Serie C_1 resp. Kurve C). Indessen wird gewiss nicht mehr als za. 0,25 mg Phosphorsäure aus dem zugesetzten Na-Humat abgegeben (siehe Serie E, resp. Kurve E).

Das Resultat ist somit, dass eine Steigerung des Humussäureinhalts des Bodens eine merkbare Desaktivierung seiner kolloid- und ionendispersen Basen bedingt, und kommen die Humussäurekolloide in Übergewicht, so macht diese Desaktivierung sich deutlich geltend und dadurch, dass der Boden innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes 2—8 Phosphorsäure abgibt.

Dies geschieht somit schon nach relativ kurzer Zeit (die kurzdauernden Serien A—E, Fig. 32), und eine grössere Änderung in den Löslichkeitsverhältnissen trifft auch nicht ein, selbst wenn die Humussäurekolloide die Gelegenheit erhalten, durch längere Zeit weiter einzuwirken (die langandauernden Serien F—G, Fig. 32), (vergl. auch S. 70—75). Hier machen sich doch einige charakteristische Änderungen geltend. Diese müssen teilweise der verlängerten Zeit (wodurch die Reaktion mehr zu Ende verlaufen kann) und teilweise dem verlängerten Schütteln (wodurch die Bodenschlämmung bessere Gelegenheit für Feindispergierung und damit für mehr umfassende Umsetzungen ihrer Bestandteile erhält) zugeschrieben werden.

Die Fähigkeit des Bodens, die zugesetzten 2,83 mg PO_4 zu binden, steigt somit in bedeutendem Grade, wenn der Versuch 34 Tage dauert (siehe Serie F resp. Kurve F). Sozusagen die ganze zugesetzte Phosphorsäuremenge wird nun im Reaktionsgebiete 2,4—4 gebunden, und ganz bis zu der Reaktionszahl 7 findet eine weit mehr umfassende Bindung als in dem entsprechenden, kurzdauernden Versuche, Serie C resp. Kurve C, statt. Hier sind es augenscheinlich die Sesquioxydkolloide des Bodens die sich geltend machen. Werden aber dem Boden Humussäurekolloide und in entsprechender Menge wie in dem kurzdauernden Versuche, Serie D, zugeführt, dann vermögen diese, auch wenn der Versuch 34 Tage dauert, Serie G resp. Kurve G, Phosphorsäure innerhalb des ganzen, untersuchten Reaktionsgebietes 2,4—8,4 freizumachen (siehe Fig. 32).

Die Löslichkeitskurve der Serie G zeigt ausserdem eine sehr charakteristische Form. Es geht nämlich hervor, dass die Sesquioxyde des Bodens sich im Reaktionsgebiete 2,5—3,5 deutlich geltend machen; im Gebiete 6—6,5 ist dies mit seinem

Kalziuminhalt und oberhalb der Reaktionszahl 7 mit dem Magnesiuminhalt merkbar der Fall (vergl. Fig. 1). In dem kurzdauernden Versuche, Serie D resp. Kurve D, kann eine ähnliche Einwirkung auch gespürt werden, aber mit Ausnahme von Magnesium machen die Sesquioxyde und das Kalzium sich hier nicht besonders deutlich geltend, was dem Verlaufe der Löslichkeitskurve anbelangt.

Man ersieht somit, dass, wenn der Versuch lange (34 Tage) dauert, Serie G, dann vermögen die Sesquioxyde die durch die zugesetzten Humussäurekolloide nach 4 Tagen hervorgerufene Löslichkeitssteigerung, Serie D, unterhalb der Reaktionszahl 4 etwas zu verringern; oberhalb 4 dagegen wird die Löslichkeitssteigerung ein wenig aber schwach weiter befördert. (Vergl. den Verlauf der Kurven G und D, Fig. 32).

Denkt man sich zuletzt auch in dem langandauernden Versuche, Serie G, den extremen Fall, dass all die organisch gebundene Phosphorsäure des zugesetzten Na-Humats die Gelegenheit erhalte freigemacht zu werden und sich mit dem Boden umzusetzen, dann würden den 5 g Boden im Ganzen 2,83 mg PO_4 zugeführt werden. Wie der Boden diese binden würde, zeigt die Serie F resp. Kurve F; aber wie die Phosphorsäure gelöst vorkommt zeigt die Serie G resp. Kurve G. Es geht somit hervor, dass die Humussäurekolloide selbst in diesem gedachten extremen Fall ganz bedeutende Phosphorsäuremengen in dem ganzen Reaktionsgebiete unterhalb 6,5 freimachen.

Die ausgeführten Versuche zeigen also, dass, wenn einem Boden Azidoide in Form von Humussäurekolloiden zugeführt werden, dann vermögen diese innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes 2—8,5 Phosphorsäure aus dem Boden freizumachen, wenn sie den Sesquioxyden und den Kalk- und Magnesiumbasen des Bodens gegenüber in Überschuss zugesetzt werden.

Bei den verschiedenen Bodenarten kann man somit, je nach ihrem wechselnden Inhalt von Basoiden und Azidoiden, erwarten, dass die Bodenphosphorsäure eine sehr wechselnde Löslichkeit in der Reaktionsskala zeigen wird, d. h. dass die Löslichkeitskurve der Phosphorsäure sehr wechselnd verlaufen kann.

Die Fähigkeit eines Bodens, Phosphorsäure abzugeben, ist somit nicht nur von dem Reaktionswert des Bodenwassers abhängig, sondern auch und in weit höherem Grade von der Menge der und dem Mengenverhältnis zwischen den vorhandenen aktiven ionen- und kolloiddispersen Basen — Fe_2O_3, Al_2O_3, CaO, MgO und Säuren — Humussäure, Kieselsäure, Kohlensäure. Wie früher schon hervorgehoben (Gaarder, 1930) kann man sogar erwarten, dass der Reaktionswert eines Bodens als solcher keine einzige Erklärung über die Fähigkeit des Bodens, Phosphorsäure abzugeben, gibt. Denn sowohl bei saurer, neutraler als basischer Reaktion wird der Boden, je nach seiner Zusammensetzung und Struktur, die Phosphorsäure sehr verschieden binden können. Betrachtet man somit die Löslichkeitskurven der Figuren 1—3 und werden diese mit den Kurven A—G der Figur 32 verglichen, so geht hervor, dass man erwarten muss draussen im natürlichen Gelände alle mögliche Typen der Löslichkeitskurve zu finden, die zwischen den folgenden zwei Extremen liegen:

1. Die Löslichkeit ist innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes 3—8,5 sozusagen gleich Null, (nämlich wenn der Boden einen sehr grossen Überschuss von aktiven Sesquioxyden und Kalk- und Magnesiumbasen besitzt).
2. Die Löslichkeit ist bedeutend und ausserdem ungefähr dieselbe innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes 3—8,5, (nämlich wenn der Boden einen sehr grossen Überschuss von aktiven Azidoiden und nur wenig von aktiven Basen enthält).

Zwischen den zwei Extremen: 1. Dass das Verhältnis aktive Säuren: aktive Basen sehr klein ist und 2. dass dies Verhältnis sehr gross ist, d. h. dass die Löslichkeitskurve entweder 1. mit der horizontalen Achse des Diagramms sozusagen zusammenfällt oder 2. in dem Diagramm aufwärts parallel verschoben liegt, sind dann alle mögliche Typen des Kurvenverlaufes denkbar. Der Verlauf der Löslichkeitskurve muss nämlich von der Art, der Menge und dem Mengenverhältnis der im Boden vorhandenen aktiven ionen- und kolloiddispersen Säuren und Basen geprägt werden.

Die Verhältnisse im Boden Westnorwegens.

In dem ausgeprägt humiden Klima Westnorwegens werden die wasserlöslichen ionendispersen Basen und Säuren aus dem Boden verhältnismässig leicht ausgewaschen und der natürliche Boden wird mehr oder weniger stark sauer. Bei der Reaktion, die hier vorherrschend ist, der Reaktionszahl 4—5, müssen es somit die kolloiddispersen Basen (Fe_2O_3, Al_2O_3) und die kolloiddispersen Säuren (Humussäure, Kieselsäure) sein, die die Bindungsfähigkeit des Bodens der Phosphorsäure gegenüber hauptsächlich prägen. Ist der Boden reich an Sesquioxydkolloiden und arm an kolloiddispersen Säuren muss man erwarten, dass er eine ausgeprägte Fähigkeit zeigt, seine Phosphorsäure festzuhalten. Ist er dagegen reich an kolloiddispersen Säuren und arm an Sesquioxydkolloiden, kann man erwarten, dass er Phosphorsäure verhältnismässig leicht abgibt.

Tab. 13 gibt eine Übersicht über den Inhalt von Basoiden und Azidoiden in den von uns eingesammelten Bodenproben. Die Basoide und Azidoide sind hier in mg-Äquivalenten pro kg trocknem Boden angegeben. Ausserdem sind die Summe der Basoide (der Sesquioxydkolloide) — B — und die Summe der Azidoide (Humussäure + Kieselsäure) — A — in speziellen Kolonnen aufgeführt und ebenso gibt es eine Kolonne, in welcher das Verhältnis zwischen den Azidoiden — A — und den Basoiden — B — der Bodenprobe oder $\frac{A}{B}$ aufgeführt ist. Diese letzte zeigt, dass die kleinsten Werte von $\frac{A}{B}$ im Gebiete 0,076—0,12 oder bei za. 0,1 liegen. Bei einem so geringen Wert ist somit der Basoidüberschuss relativ sehr gross. Es geht aus Tabelle 2 hervor, dass solche niedrige Werte hauptsächlich nur in der unteren Schicht, im B-Horizonte, typischer Podsolprofile (Boden Nr. 1 c –d, 2 d—e, 3 e—f, 4 d—e, 240 b, 243 c, 5 c) vorkommen, sie werden aber auch in einer einzelnen oberen Schicht, einem A-Horizonte, nämlich bei dem Boden

Nr. 8 (der Probe Nr. 3) nachgewiesen. Weiter geht hervor, dass die Bodenproben in der Regel entweder einen relativ grossen Überschuss von Basoiden haben, d. h. das Verhältnis $\frac{A}{B}$ ist bedeutend kleiner als 1, oder sie haben einen Überschuss von Azidoiden, d. h. das Verhältnis ist grösser als 1. Verhältnisse grösser als 1 kommen hauptsächlich in der oberen Schicht und hier im A_1-Horizonte ausgeprägter Rohhumus-, Torf- und Moorböden vor (Nr. 9, 2 b, 3 b, 4 b, 238, 241 a—b, 244, 247 a, 248, 255, 256). Die grössten Werte, 7,57 und 8,02, zeigen respektive die Bodenproben Nr. 4 b und 256, und hier ist somit der Azidoidüberschuss verhältnismässig sehr bedeutend.

Bei den 43 untersuchten Bodenproben wechselt somit das Verhältnis $\frac{A}{B}$ innerhalb des Gebietes za. 0,1—8, und es ist deshalb von Interesse zu untersuchen wie die Löslichkeit der Phosphorsäure innerhalb dieses Gebietes mit der Reaktionszahl wechselt. Unter den Bodenproben werden für diesen Zweck im Ganzen 11 ausgewählt, und es wird dafür gesorgt, dass diese ein so weit möglich gleichmässiges Wechseln des Verhältnisses $\frac{A}{B}$ innerhalb des obengenannten Gebietes vertreten. Die 11 Proben sind in Tab. 14 aufgeführt.

In diesen Proben wird die Fähigkeit des Bodens, Phosphorsäure bei wechselnder Reaktionszahl abzugeben, festgestellt. Wir benutzen folgendes Verfahren: Es wird eine Serie wässeriger Bodenschlämmungen hergestellt, die durch Zusatz von variierenden Mengen Salzsäure oder Natronlauge zu wechselnder Reaktion gebracht werden. In jedem Pulverglas der Serie werden 5 g von trocknem Boden 100 ml einer Mischung, aus Wasser und 0,1 n Salzsäure oder 0,1 n Natronlauge bestehend, zugesetzt. Die Serie steht 4 Tage und wird täglich eine halbe Stunde im Schüttelapparat geschüttelt, wonach die Reaktion der Bodenschlämmungen und im Ultrafiltrate ihr Inhalt von gelöster Phosphorsäure festgestellt werden.

Das Resultat der Untersuchungen geht aus Tab. 15 (wo die Menge der gelösten Phosphorsäure als mg PO_4 pro 100 ml Ultrafiltrat angegeben ist) und aus den graphischen Darstellungen der Figuren 33 a—d hervor.

Wie früher hervorgehoben ist es nur der aktive Teil der Bodenbestandteile, der die Gelegenheit hat, sich bei der Freimachung resp. Bindung der Phosphorsäure geltend zu machen. Sowohl der Verlauf der Bodenbildung als die Lage der Probe im Bodenprofile, d. h. die vorhandene Struktur der Bodenprobe, spielt somit bei diesem Prozess eine wichtige Rolle. Insofern kann man nicht erwarten, dass immer ein eindeutiger und deutlicher Zusammenhang zwischen den Löslichkeitsverhältnissen der Bodenphosphorsäure und dem Verhältnis $\frac{A}{B}$ d. h. dem Verhältnis zwischen den totalen Mengen der azidoiden und basoiden Bestandteile der Bodenprobe, so wie diese von uns durch die Methoden Tamms und Odéns festgestellt werden, bestehen soll. In den Hauptzügen muss man aber erwarten, nachweisen zu können, dass je kleiner das Verhältnis $\frac{A}{B}$ eines Bodens ist, desto mehr ausgeprägt wird dieser seine Phosphorsäure festhalten können.

Tabelle 13.

Probe Nr.	Boden Nr.	Kolloide in mg-Äquivalenten pro kg trocknem Boden				Basoide Fe_2O_3 + Al_2O_3	Azidoide SiO_2 + Humus	Azidoide / Basoide	Basoide ÷ Azidoide	pH des Bodens	Wasserlösliche Phosphorsäure und pH		
		Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Humus	B	A	$\frac{A}{B}$	B ÷ A		Nach 4 Tagen	Nach 33 Tagen	
											mg PO_4	mg PO_4	pH
3	8	646	1425	38.3	168	2071	206.3	0.10	+ 1864.7	4.18	0	0	4.5
4	1 b	176.5	364	8.3	202	540.5	210.3	0.39	+ 330.2	5.6	0	0	4.7
5	c	437	565	35.6	72.6	1002	108.2	0.11	+ 893.8	5.02	0	0	5.0
6	d	399	617	52.6	39.5	1016	92.1	0.08	+ 923.9	4.97	0	0	5.0
7	239	651	513	12.6	212	1164	224.6	0.19	+ 939.4	4.92	0	0	4.8
8	240 a	606	277	20.3	367	883	387.3	0 44	+ 495.7	4.21	0.124		
9	b	865	394	13.6	132.5	1259	146.5	0.12	+ 1112.5	4.60	0	0	4.5
10	243 a	557	318	15.3	350.4	875	365.7	0.42	+ 509.3	4.27	0.10	0.058	4.2
11	b	742	483	12.6	199 2	1225	211.8	0.173	+ 1013.2	4.39	0	0.014	4.3
12	c	1330	906	20.3	150	2236	170.3	0.076	+ 2065.7	4.58	0	0	4.35
13	238	116.5	224	114	1083.9	340.5	1197.9	3.52	÷ 857.4	3.9	1.40	5.85	3.8
14	247 a	173	300	12	1254	473	1266	2.68	÷ 793	4.09	1.085	2.98	4.2
15	b	850	505	25	270	1355	295	0.217	+ 1060	4.09	0	0.008	4.0
16	c	1240	783	14 6	353	2023	367 6	0.181	+ 1655.4	4.35	0	0	4.35
17	d	965	848	41.4	207	1813	248.4	0.136	+ 1564.6	4.35	0	0.012	4.4
18	2 b	241	123	15	832.5	364	847.5	2.32	÷ 483.5	3.9	2.335	3.41	4.0
19	c	654	206	29	160.5	860	189.5	0.22	+ 670.5	4.10	0.085	0	4.2
20	d	645	1350	158	19.9	1995	177.9	0.09	+ 1817.1	5.17	0	0	5 05
21	e	702	1188	180	13.5	1890	193.5	0.10	+ 1696.5	5.32	0	0	5.2
22	3 b	146.5	329	12	1471.2	475.5	1483.2	3.11	÷ 1007.7	3.90	2.705	2.94	3.85
23	c	304	217	9	172.3	521	181.3	0.35	+ 339.7	4.10	0.160	0.374	4.4
24	e	1400	1890	42.3	195.2	3290	237.5	0.072	+ 3052.5	4.92	0	0	4.9
25	f	583	1058	146.5	39	1641	185 5	0.113	+ 1455.5	4.92	0	0	4.95

26	4 b	67.7	206	19.3	2047.5	273.7	2066.8	7.57	÷ 1793.1	4.0	1.05	3.15	3.9
27	c	37.6	135	7	77.2	172.6	84.2	0.49	+ 88.4	4 10	0.07	0.35	4.2
28	d	1112	1005	78	163	2117	241	0.11	+ 1876	4.95	0	0	4.75
29	e	582	917	87.4	30.3	1499	117.7	0.08	+ 1381.3	5.09	0	0	4.9
30	226	755	494	22	778	1249	800	0.64	+ 449	4.4	0	0.026	4.3
31	256	86	170	4	2050	256	2054	8.02	÷ 1798	3.88	2.70	3.50	4.0
32	5 a	807	870	12	758	1677	770	0.46	+ 907	4.70	0	0.026	4 5
33	b	1360	1564	27	496	2924	523	0.27	+ 2401	5.06	0	0	5.0
34	c	1510	2490	51.9	413	4000	464.9	0.12	+ 3535.1	5.28	0	0	5.0
35	6 a	654	790	18	452	1444	470	0.33	+ 974	4.87	0	0	4.6
36	b	680	865	11.6	364	1545	375.6	0.24	+ 1169 4	4.92	0	0	4.7
37	c	958	1253	14	282	2211	296	0.13	+ 1915	4.99	0	0	
38	9	357	547	10	1494	904	1504	1.66	÷ 600	4.40	0.496	1.22	4.5
39	241 a	259	329	15	1470.3	588	1485.3	2.52	÷ 897.3	4.10	7.56	8.17	4.1
40	b	113	253	14.3	2091.3	366	2105.6	5.75	÷ 1739.6	3.83	0.875	3.32	3 8
41*	244	297	952	36.6	1918	1249	1954.6	1.56	÷ 705.6	5.36	0.99	2.78	5.3
42	248	101.5	135	25	1595	236	1620	6.86	÷ 1384	3.57	2.70	2.62	3.7
43*	255	305	482	5.7	1829	787	1834.7	2.33	÷ 1047.7	4.18	0.407	2.17	4.25
44*	245	1610	1250	171	253	2860	424	0.148	+ 2436	4.73	0	(0.01)	4.75
45	246	2045	1454	33	470	3499	503	0.144	+ 2996	4.50	0	0	4.5

* Gedüngt.

Dies Resultat geht dann auch mit grosser Deutlichkeit aus den Figuren 33 a—d hervor.

Besitzt der Boden ein sehr kleines Verhältnis $\frac{A}{B}$ dann bindet er seine Phosphorsäure sehr stark innerhalb eines ganz umfassenden Reaktionsgebietes. So lässt sich in dem Boden Nr. 8 (Fig. 33 a) sozusagen keine Phosphorsäure innerhalb des ganzen Gebietes za. 3—7,5 nachweisen. Je mehr aber das Verhältnis $\frac{A}{B}$ steigt, desto weniger umfassend ist auch das Reaktionsgebiet, in welchem der Boden seine Phosphorsäure festhält. Im grossen und ganzen kann man sagen, dass die Bin-

Tabelle 14.

Nr.	Boden Nr.	Salzsäurelösliche Phosphorsäure pro kg trocknem Boden		mg-Äquivalente Azidoide A	mg-Äquivalente Basoide B	Basoide ÷ Azidoide B ÷ A	Azidoide/Basoide $\frac{A}{B}$	pH nach 4 Tagen
		g PO_4	mg-Äquivalente PO_4					
1	8	0.632	20	206	2071	+ 1865	0.10	4.15
2	2 c	0.799	25.2	189.5	860	+ 670.5	0.22	4.15
3	247 b	1.655	52.5	295	1355	+ 1060	0.22	4.0
4	1 b	0 974	30.8	210	540.5	+ 330	0.39	5.0
5	240 a	1.652	52	387	883	+ 496	0.44	4.25
6	5 a	2.330	73.5	770	1677	+ 907	0.46	4.75
7	226	1.400	44	800	1249	+ 449	0.64	4.4
8	9	4.375	138	1504	904	÷ 600	1.66	4.4
9	2 b	3.040	96	847.5	364	÷ 483	2.32	3.9
10	238	3.500	110.5	1198	340.5	÷ 857	3.52	3.9
11	4 b	1.320	41.5	2066.8	274	÷ 1793	7.57	4.0

dungsfähigkeit der Bodenproben der Phosphorsäure gegenüber in dem Reaktionsgebiete 2,5—3,5 am meisten ausgeprägt verbleibt, so lange das Verhältnis $\frac{A}{B}$ kleiner als 1 ist. Aber je grösser das Verhältnis wird, desto weniger ausgeprägt ist die Bindungsfähigkeit, nicht nur oberhalb der Reaktionszahl 3,5, sondern auch im Gebiete 2,5—3,5 (siehe Fig. 33 a—d und vergl. hiermit Fig. 3, 2 und 1).

Die Kurve, die die Verbindung zwischen der Löslichkeit der Phosphorsäure und der Reaktionszahl des Bodens angibt — sie wird im Folgenden einfach die Löslichkeitskurve genannt — hebt sich für steigenden Wert des Verhältnisses $\frac{A}{B}$ von der horizontalen Achse in die Höhe, dies geschieht doch in dem Reaktionsgebiete 2—4 sehr träge, je mehr aber der Reaktionswert weiter steigt entfernt sich die Löslichkeitskurve im grossen und ganzen mehr und mehr von der Achse, und sie erreicht im allgemeinen ihre grösste Höhe bei schwach basischer Reaktion (der

Reaktionszahl 8—9). Es kann hierunter beobachtet werden, dass die Kurve bei mehreren Böden im Reaktionsgebiete 6—7 die Tendenz eines mehr horizontalen Verlaufes zeigt, was der Einwirkung des Kalkinhalts des untersuchten Bodens zugeschrieben werden muss. Dies Verhalten tritt bei dem Boden Nr. 240 a (Fig. 33b) am deutlichsten hervor; denn die Kurve zeigt hier abnehmende Löslichkeit, indem die Reaktionszahl von 6 bis zu 7,4 steigt, und gerade dieser Boden besitzt den grössten Kalziuminhalt von allen den hier untersuchten Bodenproben (vergl. übrigens Fig. 1 und 2).

Man ersieht weiter, dass, je nachdem das Verhältnis $\frac{A}{B}$ steigt, dann wird Freimachung der Phosphorsäure auch innerhalb des Reaktionsgebietes 2—4,5 ermöglicht. Bei allen den untersuchten Bodenproben mit einem Verhältnis $\frac{A}{B} \leqq 0{,}44$ lösen sich somit nachweisbare Mengen bei jedem untersuchten Reaktionswert, der Boden Nr. 226 ausgenommen, indem dieser in dem Gebiete 3,6—4,1 seine Phosphorsäure noch festzuhalten vermag. Es geht somit hervor, dass je grösser das Verhältnis Azidoide : Basoide ist, desto grösser sind auch im allgemeinen die Phosphorsäuremengen, die aus dem Boden freigemacht werden, und gelangt das Verhältnis über 1, dann werden verhältnismässig bedeutende Mengen innerhalb des ganzen Reaktionsgebietes 2—9 freigemacht (Fig. 33 c—d).

Wir werden später auf die Bodenproben zurückkommen, die ein Verhältnis $\frac{A}{B} > 1$ besitzen, indem wir erst die Bodenproben mit einem Verhältnis $\frac{A}{B} < 1$ besprechen werden.

Es wurde oben hervorgehoben, dass die Struktur des Bodens, d. h. der reaktionsfähige Zustand seiner verschiedenen Bestandteile, einen bedeutenden Einfluss auf die Freimachung der Phosphorsäure ausübt. Dass dies der Fall ist geht deutlich hervor, wenn man die Verhältnisse in den untersuchten Bodentypen Nr. 2 c, Nr. 247 b und Nr. 1 b betrachtet (siehe Fig. 33 a). Nr. 2 c und Nr. 247 b besitzen beide das Verhältnis $\frac{A}{B} = 0{,}22$ und zeigen auch eine grosse Übereinstimmung in ihren Löslichkeitskurven, d. h. in dem Wechseln der gelösten Phosphorsäure bei wechselnder Reaktionszahl. Im Gegensatz zu diesen 2 Proben besitzt Nr. 1 b ein bedeutend grösseres Verhältnis $\frac{A}{B}$, nämlich 0,39; ihr Basoidinhalt, B, ist bedeutend geringer als der in den Proben Nr. 2 c und 247 b, ihr Inhalt von Azidoiden, A, dagegen ist ungefähr gleich gross (siehe Tab. 14). Trotzdem zeigt Nr. 1 b im Gegensatz zu Nr. 2 c und 247 b in dem Reaktionsgebiete 3,5—5,5 eine starke Bindungsfähigkeit seiner Phosphorsäure gegenüber. Dies ist eben ein Gebiet wo die Sesquioxydkolloide die Phosphorsäure binden; man könnte somit erwarten, dass die Böden Nr. 2 c und 247 b ihre Phosphorsäure in diesem Gebiete am wenigsten ebenso stark binden würden, während in Wirklichkeit, wenn die Reaktionszahl über za. 3,7 steigt, deutlich nachweisbare Mengen gelöst werden. Dies Verhalten rührt aber von den in diesen Böden herrschenden

Tabelle 15.

Nr.	Boden Nr.		Wasserlösliche Phosphorsäure						
1	8	pH	8.35	8.2	7 8	7.45	6.9	5.75	4.55
		mg PO_4 pro 100 ml...	0.03	$\leqq$ 0.01	Spuren	0	0	0	0
2	2 c	pH	$>$ 9	9	8.6	7.6	6.2	5.6	4.15
		mg PO_4 pro 100 ml...	0.165	0.179	0.140	0.116	0.112	0.082	0.041
3	247 b	pH	7.9	7.2	6.6	6.0	5.35	4.7	4.0
		mg PO_4 pro 100 ml...	0 163	0.116	0.107	0.102	0.07	0.035	$\leqq$ 0.01
4	1 b	pH	$>$ 9	9	8.5	8.1	7 5	7.2	5.6
		mg PO_4 pro 100 ml...	0.256	0.228	0.198	0 175	0.128	0.07	$\leqq$ 0.01
5	240 a	pH	7.4	7.1	6.8	6.05	5.2	4 7	4.25
		mg PO_4 pro 100 ml...	0.257	0.268	0.303	0.350	0.245	0.163	0.105
6	5 a	pH	8.7	8.3	7.8	7.7	7.3	7.15	6.85
		mg PO_4 pro 100 ml...	0.224	0.222	0.210	0.198	0.190	0.163	0.144
7	226	pH	8.7	8.1	7.5	7 1	6.7	6.3	5.6
		mg PO_4 pro 100 ml...	0.42	0.397	0.362	0.304	0.256	0.228	0.203
8	9	pH	7.75	7.45	7.15	6.8	6.3	5.9	5.5
		mg PO_4 pro 100 ml...	1.81	1.66	1,57	1.46	1.74	1.86	1.98
9	2 b	pH	$>$ 9	8.7	8.3	7.8	7.05	6.2	5.35
		mg PO_4 pro 100 ml...	1.96	2.08	2.22	2.29	2.64	2.78	2.82
10	238	pH	8.6	8.15	7.8	7.25	6.9	6.3	5.75
		mg PO_4 pro 100 ml...	2 6	2.7	2.98	3 27	4.96	5.14	5.25
11	4 b	pH	8.2	7.8	7.1	6.85	6.7	6 2	5.65
		mg PO_4 pro 100 ml...	1.38	1.82	1.84	1.88	1.92	2.10	2.28

bei wechselndem pH.

4.15	4.0	3.6	3.2	2.75							
0	0	0	Spuren	$\gtrless$ 0.01							
3.45	2.9	2.7	2.2	2.05	1.8	1.5	1.2				
0.0	Spuren	0.018	0.02	0.024	0 028	0.032	0.035				
3.6	3.15	2.75	2.15	2.1	2.0	1.8					
0	0	0	0	$\gtrless$ 0.01	0.023	0,035					
5.0	4.2	3.65	3.15	2.6	2.35	2.1	1.7				
0	0	0	0	0	0	$\gtrless$ 0.01	$\gtrless$ 0.01				
3.8	3.25	2 85	2.45	2.2							
0.058	0.016	0.0116	0.016	0.021							
6.45	5.85	5.2	4.75	4.2	3.8	3.15	2 6	2.3	2.1	$<$ 2 0	
0.140	0.109	0.065	0.044	0.011	0.008	0.012	0.017	0.046	0.058	0.067	
5.0	4.65	4.4	4 25	4.1	3.6	3 3	2.8	2.55	2 35	2.15	2.1
0.093	0.056	0.04	$\gtrless$ 0 01	0	0	$\gtrless$ 0.01	0.035	0.052	0.070	0.079	0.084
4.95	4.4	4.1	3.55	3.0	2.5	2.1					
1.81	1.31	0.932	0.64	0.41	0.72	1.46					
4.6	4.25	3.9	3.7	3.1	2.7	2 2	1.9				
2.61	2.61	2.75	2.50	2.28	2.31	2.43	2.66				
5.2	4.6	3.9	3 6	3.2	2.7	2.2	2.0	1.7	1.6	1.4	
5.44	5.84	5.66	5.37	4.67	4.44	4.38	4.38	4.56	4.47	4.50	
5 35	4.65	4 0	3.6	3.1	2.7	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	
2.28	2.28	2.61	2.53	2.43	2.40	2.40	2.33	2.33	2.33	2.33	

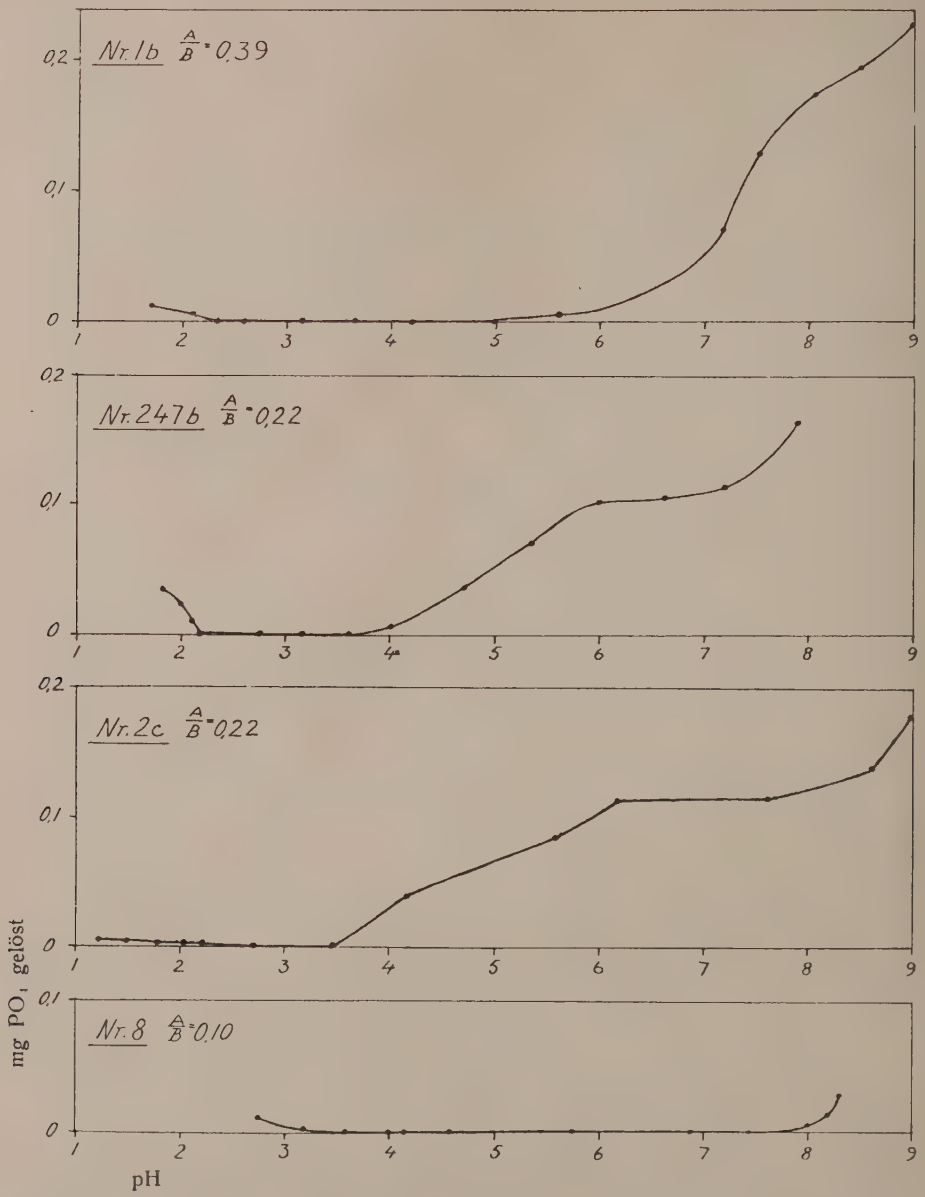


Fig. 33 a. Die Löslichkeit der Phosphorsäure der Böden Nr. 8, 2 c, 247 b und 1 b. Die Kurven zeigen, wie die Löslichkeit mit der Reaktion und dem Kolloidinhalt, durch das Verhältnis $\frac{A}{B}$ angegeben, wechselt.

(Fosforsyrens oppløselighet hos jord nr. 8, 2 c, 247 b og 1 b. Kurvene viser hvorledes oppløseligheten veksler med reaksjonen og jordens kolloidinnhold angitt ved forholdet $\frac{A}{B}$).

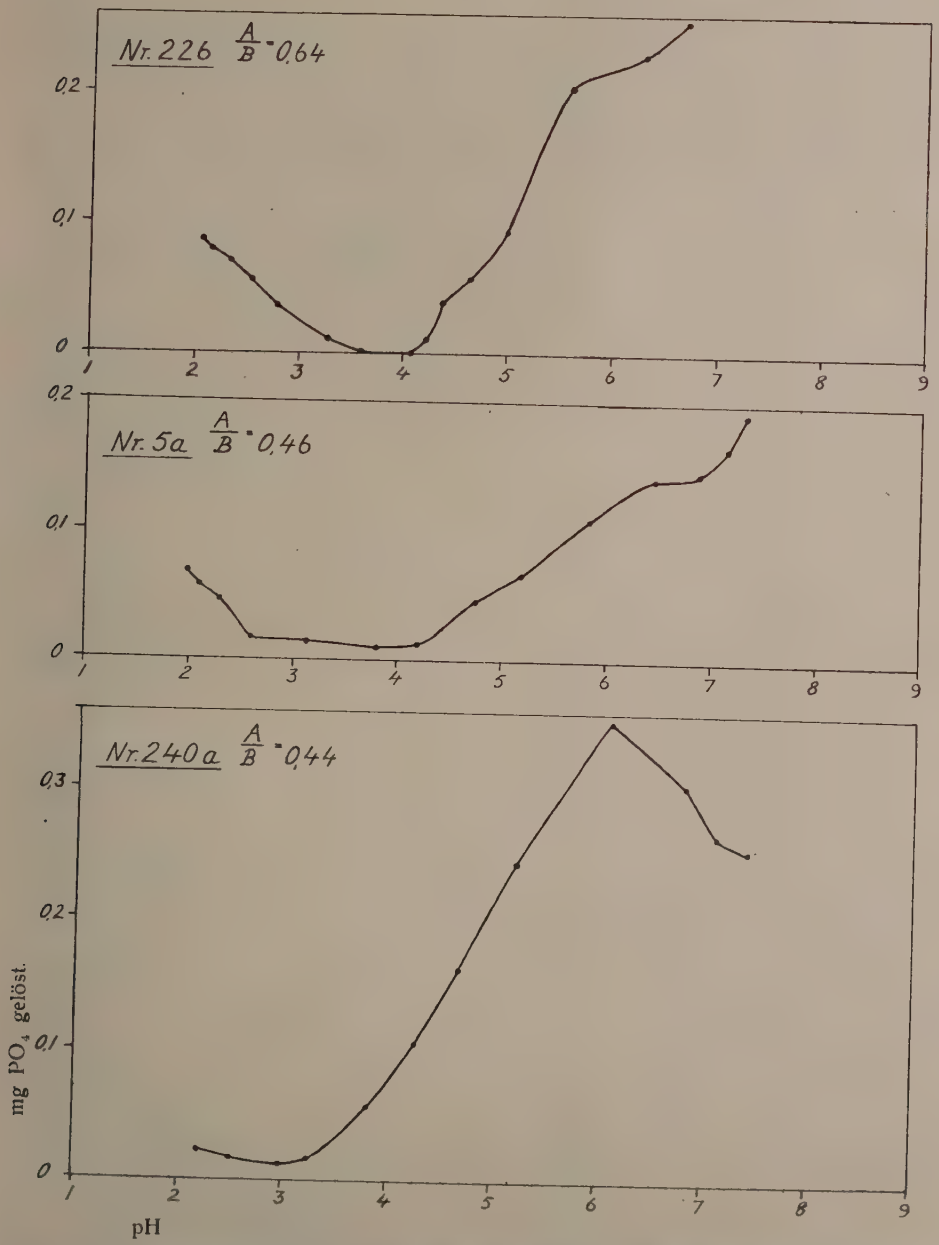


Fig. 33 b. Die Löslichkeit der Phosphorsäure der Böden Nr. 240 a, 5 a und 226. Die Kurven zeigen, wie die Löslichkeit mit der Reaktion und dem Kolloidinhalt, durch das Verhältnis $\frac{A}{B}$ angegeben, wechselt.

(Fosforsyrens oppløselighet hos jord nr. 240 a, 5 a og 226. Kurvene viser hvorledes oppløseligheten veksler med reaksjonen og jordens kolloidinnhold angitt ved forholdet $\frac{A}{B}$).

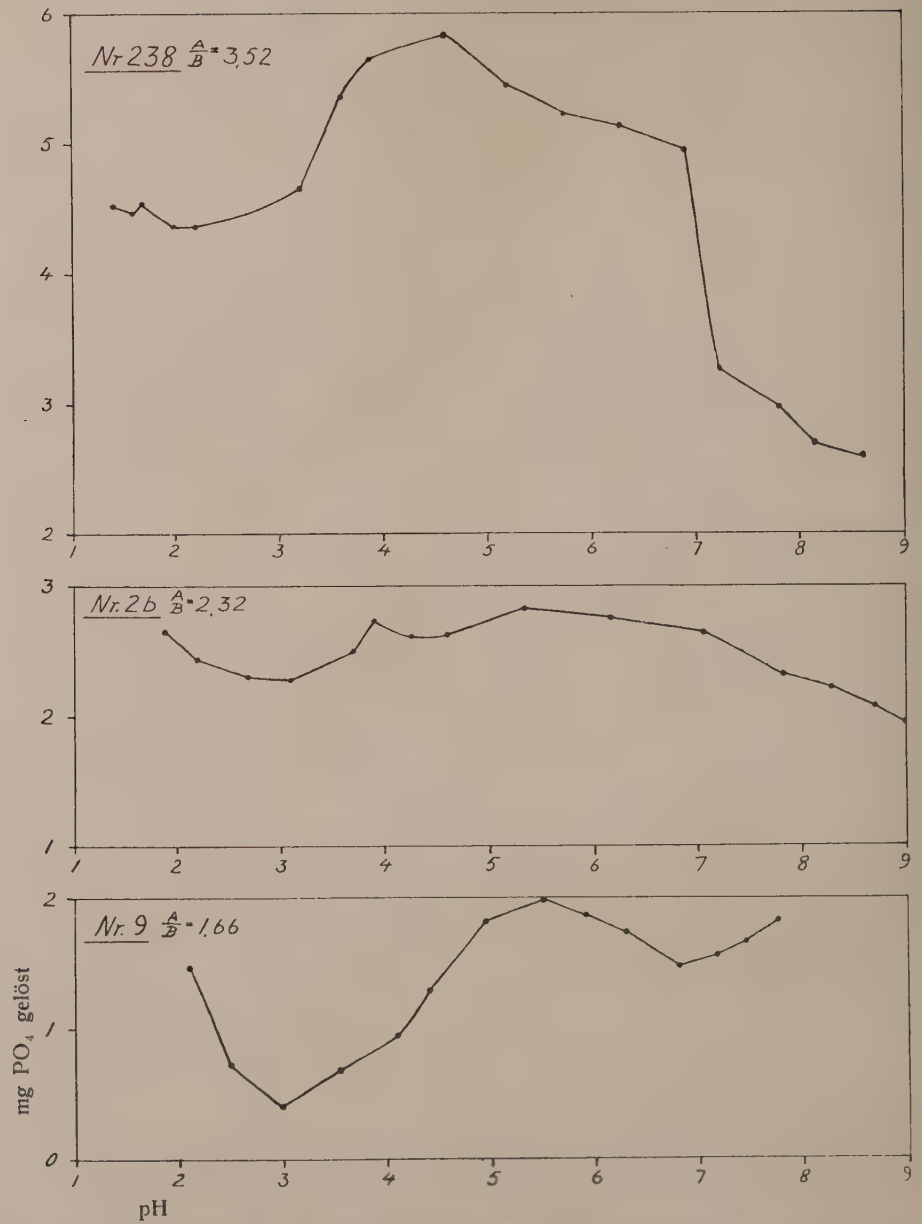


Fig. 33 c. Die Löslichkeit der Phosphorsäure der Böden Nr. 9, 2 b und 238. Die Kurven zeigen wie die Löslichkeit mit der Reaktion und dem Kolloidinhalt, durch das Verhältnis $\frac{A}{B}$ angegeben, wechselt.

(Fosforsyrens oppløselighet hos jord nr. 9, 2 b og 238. Kurvene viser hvorledes oppløseligheten veksler med reaksjonen og jordens kolloidinnhold angitt ved forholdet $\frac{A}{B}$).

speziellen Zuständen her, die Proben Nr. 2 c und 247 b entstammen nämlich einer Schicht, die im Bodenprofil unterhalb einer Bodendecke liegt, aus welcher, während der Podsolierung, Humussäurekolloide niedergeschlämmt werden. Bei diesen zwei Bodenproben werden somit die Sesquioxydkolloide in grösserem oder geringerem Grade von niedergeschlämmten Humussäurekolloiden umhüllt und ihr Bindungsver-

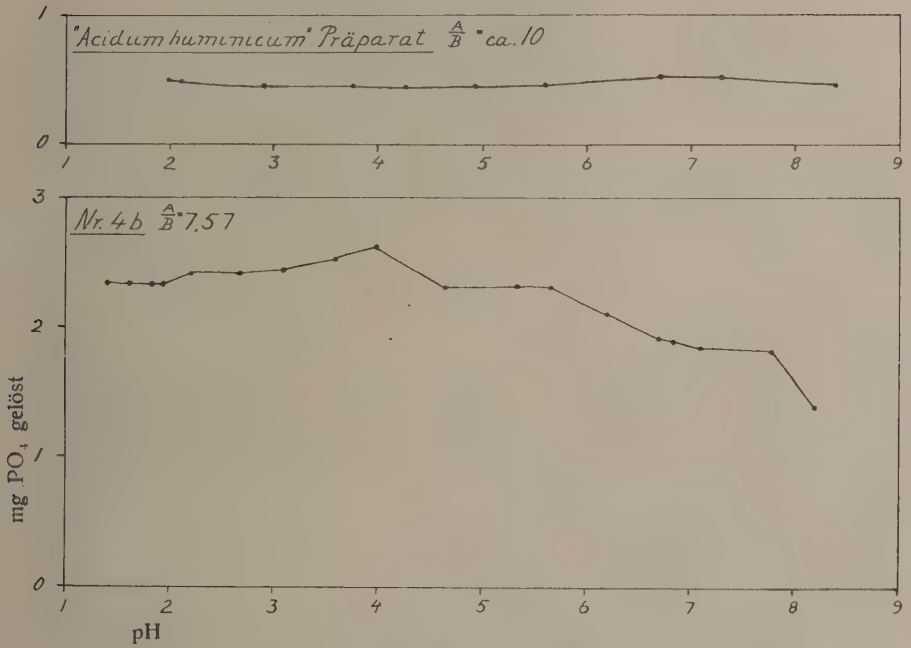


Fig. 33 d. Die Löslichkeit der Phosphorsäure des Bodens Nr. 4 b und eines Humussäure-Präparats. Die Kurven zeigen wie die Löslichkeit mit der Reaktion und dem Kolloidinhalt, durch das Verhältnis $\frac{A}{B}$ angegeben, wechselt.

(Fosforsyrens opløselighet hos jord nr. 4 b og hos et humussyre-preparat. Kurvene viser hvorledes opløseligheten veksler med reaksjonen og kolloidinnholdet angitt ved forholdet $\frac{A}{B}$).

mögen der Phosphorsäure gegenüber wird dadurch geschwächt. Die Phosphorsäure oder richtiger der Teil dieser, der die Gelegenheit hat, mit dem Bodenwasser, der Flüssigkeitsphase, zu reagieren, erhält somit nun relativ gute Gelegenheit sich zu lösen, trotzdem dass die Bodenprobe einen bedeutenden Überschuss von Basoiden besitzt. Dass die Basoide sich sonst viel stärker hätten geltend machen können, geht eben aus den Bindungsverhältnissen des Bodens Nr. 1 b hervor. Diese Probe stammt aus einer mulligen und gut aussehenden Oberschicht, wo die Humusstoffe verhältnismässig gut zersetzt werden. Hier erhalten somit die vorhandenen Sesquioxydkolloide gute Gelegenheit zu reagieren und die Bodenphosphorsäure festzuhalten.

In einer Bodenprobe wo saure Humuskolloide, Humussäuren, produziert oder niedergeschlämmt werden, werden diese somit als Schutzkolloide auftreten und die Sesquioxydkolloide des Bodens umhüllen können. In dem Falle erhalten diese letzten lange nicht die Gelegenheit, die sie sonst haben könnten, Phosphorsäure zu binden. Es geht dann auch aus einer Reihe Proben aus Moor- (Nr. 9), Rohhumus- (Nr. 238) und Torfböden (Nr. 2 b und 4 b) hervor (siehe Fig. 33 c und 33 d), dass ein Überschuss von Humussäurekolloiden eine relativ sehr grosse Löslichkeit der Bodenphosphorsäure und dies innerhalb der ganzen Reaktionsskala bedingt. Aber wie man ersieht, schwankt die Löslichkeit auch in diesen Proben mit der Reaktionszahl. Es wird im allgemeinen die relativ geringste Löslichkeit in dem Reaktionsgebiete za. 2,5—3,5 (Nr. 9, 2 b, 238) und die grösste im Gebiete za. 5—6 (Nr. 9, 2 b) oder 3,5—6 (Nr. 238) konstatiert. Die mit der Reaktionszahl am wenigsten wechselnden Löslichkeitsverhältnisse werden bei dem Boden Nr. 4 b, nachgewiesen (siehe Fig. 33 d), der dann auch den grössten Überschuss von Azidoiden im Verhältnis zu Basoiden besitzt (siehe Tab. 14). Hier gibt es eine von der Reaktionszahl 1,5 bis za. 4 ganz schwach steigende Löslichkeit und dann eine ein wenig stärker abnehmende Löslichkeit je nachdem die Reaktionszahl gegen 8 steigt: Je grösser der Überschuss von Azidoiden im Verhältnis zu Basoiden ist, desto geringer wird augenscheinlich die Fähigkeit der Basoide, die Phosphorsäure zu binden. Der Einfluss der Basoide muss sich somit in einem Humussäurepräparat, das ja hauptsächlich aus sauren Humusstoffen besteht, relativ am wenigsten geltend machen. Dies geht auch deutlich aus Figur 33 d hervor, die die Löslichkeit der Phosphorsäure eines »Acidum huminicum«-Präparats (Merck) bei wechselnder Reaktionszahl zeigt. Das benutzte Präparat enthält za. 3 mg-Äquiv. Humussäure, 0,304 mg-Äquiv. Sesquioxyde, Spuren von CaO und sehr schwache Spuren von MgO pro g trocknem Stoff. Das Verhältnis $\frac{A}{B}$ ist somit hier za. 10 und also wesentlich grösser als das des Bodens Nr. 4 b. Die totale Phosphorsäuremenge pro 50 ml hergestellter Na-Humatlösung (= 2,5 g Humussäurepräparat) beträgt 3,17 mg PO_4, und die Phosphorsäure kommt hauptsächlich organisch gebunden vor, indem nur za. 0,5 mg PO_4 löslich ist (siehe Fig. 33 d). Das Humussäurepräparat kann als ein Bodentypus mit einem sehr grossen Überschuss von Azidoiden (Humussäure), ganz kleinen Mengen von Basoiden (Sesquioxyden) und nur Spuren von Kalk und Magnesia angesehen werden. Hier zeigt die Menge der löslichen Phosphorsäure sich von der Reaktionszahl sozusagen unabhängig, die Löslichkeitskurve hat nämlich einen mit der horizontalen Achse ungefähr parallelen Verlauf (siehe Fig. 33 d). Beim näheren Betrachten sieht man doch, dass die Kurve in dem Reaktionsgebiete 2—5 eine schwach entwickelte intermediäre Minimumpartei und im Gebiete 6—8 eine schwach entwickelte Maximumpartei zeigt. Dies kann durch die Einwirkung des Sesquioxyd- und Kalkinhalts des Humussäurepräparats erklärt werden, denn betrachtet man Fig. 1, so geht hervor, dass die Sesquioxyde sich eben in dem Reaktionsgebiete 2—5 am meisten merkbar geltend machen, aber entschieden weniger, je nachdem die Reaktionszahl weiter steigt. In dem Gebiete ober-

halb za. 6 wird dagegen der Kalk anfangen sich geltend zu machen und dies am meisten merkbar, wenn die Reaktion basisch wird. Ist deshalb ein Humussäurepräparat ganz frei von Sesquioxyden, Kalk und Magnesia, dann bindet es die Phosphorsäure nicht (siehe auch Balanesco[17]).

Die meist extremen Fälle der mit der Reaktionszahl wechselnden Löslichkeit der Phosphorsäure werden deshalb in den Bodenproben angetroffen, wo entweder ein mächtiger Überschuss von Basoiden oder ein mächtiger Überschuss von Azidoiden vorhanden ist. In dem ersten Falle zeigt sich die Bodenphosphorsäure innerhalb eines sehr umfassenden Gebietes der Reaktionsskala oder von za. 3 bis za. 8 (Boden Nr. 8) sozusagen unlöslich. In dem letzten Falle ist sie verhältnismässig leicht löslich und die Löslichkeit ist ausserdem von der Reaktionszahl relativ wenig abhängig (Nr. 4 b).

Zwischen diesen zwei Extremen gibt es, wie früher hervorgehoben, Möglichkeiten aller denkbaren Übergangstypen der Löslichkeitskurve, je nachdem das Verhältnis zwischen und die Menge der aktiven ionen- und kolloiddispersen Basen — Fe_2O_3, Al_2O_3, CaO, MgO — und Säuren — Humussäure, Kieselsäure, Kohlensäure — wechselt. Für dies Wechseln haben wir als angenähertes Mass das Wechseln des Verhältnisses $\frac{A}{B}$ benutzt. Die Löslichkeitskurve wird somit je nach den Bodenverhältnissen mehr oder weniger ausgeprägte Maxima oder Minima sozusagen innerhalb jedes einzelnen Gebietes der Reaktionsskala aufweisen können.

Auf der Grundlage früherer Untersuchungen (siehe Fig. 1, 2 und 3) muss man somit erwarten können, dass die Basoide (Fe_2O_3 und Al_2O_3) im Reaktionsgebiete 2—4 sich zuerst merkbar geltend machen und Minimumgebiete der Löslichkeit hervorrufen; für die Eisenhydroxydkolloide gilt dies besonders bei der Reaktionszahl za. 2—3, für die Aluminiumhydroxydkolloide besonders bei za. 4. Je mehr dann aktive Basoide im Verhältnis zu aktiven Azidoiden vorhanden sind, desto mehr ausgeprägt und umfassend wird dies Minimumgebiet sich in der Reaktionsskala geltend machen. Eine gradweise Entwicklung dieses Verhältnisses hat man in den hier untersuchten Bodenproben aus Westnorwegen gute Gelegenheit zu beobachten bei dem Betrachten des Verlaufes der Löslichkeitskurve folgender Bodenproben und in der Reihenfolge: Humussäurepräparat, 4 b (Fig. 33 d), 2 b, 238, 9 (Fig. 33 c), 226, 5 a, 240 a (Fig. 33 b), 247 b, 2 c, 1 b und 8 (Fig. 33 a).

Wenn Kalzium in grossem Überschuss vorhanden ist, kann es schon bei einem so niedrigen Reaktionswert als 4,8 auf die Löslichkeit der Phosphorsäure einwirken (Gaarder, 1930, S. 59); aber je weniger es vorhanden ist, desto höher kann die Reaktionszahl steigen, ehe das Kalzium sich merkbar geltend macht. Das Kalzium wird sich doch oft schon von der Reaktionszahl 5,5 an geltend machen, und ist es in passendem Überschuss vorhanden, wird die Phosphorsäure schon unterhalb des Neutralpunktes sehr umfassend gebunden werden. Die hier untersuchten Bodenproben stammen indessen alle aus einer ausgeprägt humiden Zone mit typischer Podsolbildung und man kann somit nicht erwarten, dass deren

[17]) G. Balanesco, Annales de la Science Agronomique, Mai—Juin, 364, 1930.

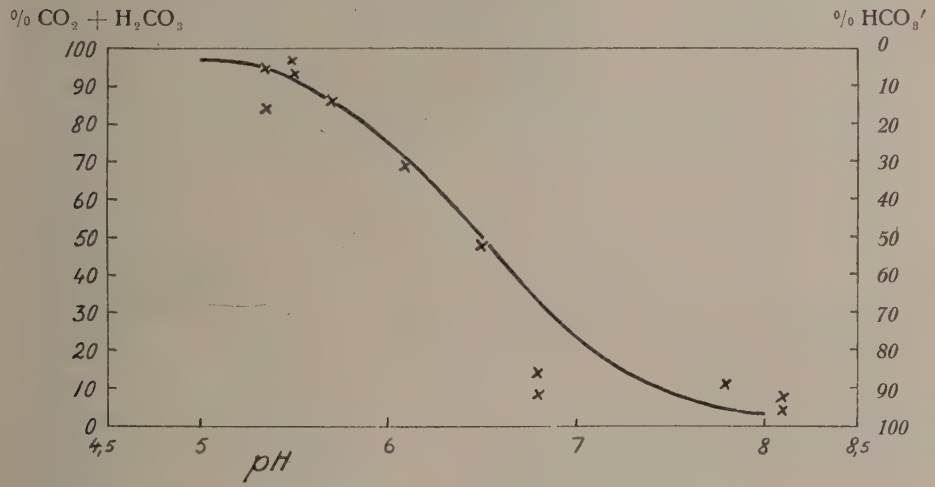
Löslichkeitskurven eine deutliche Einwirkung des Kalziums (und des Magnesiums) zeigen werden. Es sind doch einige der untersuchten Bodenproben, für welche die Kurve zu erkennen gibt, dass auch das Kalzium auf ihren Verlauf Einfluss ausübt. Die untersuchten Proben, die von Kalzium am meisten enthalten, sind Nr. 1 b, 5 a, 240 a, samt Nr. 238 und Nr. 4 b (siehe Tab. 2). Die Löslichkeitskurven der Böden Nr. 1 b und 5 a geben keine (deutliche) Auskunft darüber, dass ihr Kalzium sich oberhalb der Reaktionszahl 5,5 geltend macht; dies verhindert aber nicht die Möglichkeit, dass der Kalziuminhalt einwirkt. Dies scheint dagegen aus dem Kurvenverlauf des Bodens Nr. 240 a hervorzugehen, der, wie früher besprochen, von allen den untersuchten Proben das meiste Kalzium enthält. Indessen gilt es ja auch für den Kalziuminhalt des Bodens, dass nur der aktive Teil seinen Einfluss direkt geltend machen kann, aber den aktiven Teil haben wir keine Gelegenheit direkt festzustellen.

Die Böden Nr. 238 und 4 b besitzen das grösste Verhältnis $\frac{A}{B}$ von allen untersuchten Proben, und hier werden bedeutende Phosphorsäuremengen in dem ganzen untersuchten Reaktionsgebiete freigemacht. Die gelöste Menge nimmt ziemlich viel ab, indem die Reaktionszahl höher als za. 5 steigt, es ist aber schwer bestimmt auszusprechen, von welcher Ursache(n) dies herrührt. Man kann sich denken, dass selbst wenn die Sesquioxyde relativ wenig vorhanden sind, ihre Fähigkeit, Phosphorsäure zu binden, bei steigender Reaktionszahl im Gebiete 5—8 entschieden stärker werden wird, denn gerade hier wechselt die gelöste Phosphorsäure mit steigender Reaktionszahl dazwischen, hauptsächlich als Dihydrophosphation (bei der Reaktionszahl za. 5) und hauptsächlich als Hydrophosphation (bei der Reaktionszahl za. 9) vorzukommen, und sekundäre Phosphate sind bekanntlich bedeutend schwerer löslich als primäre.

Die Bodenproben, in denen das Verhältnis $\frac{A}{B}$ grösser als 1 ist, nämlich Nr. 9, 2 b, 238 und 4 b, zeigen alle ein intermediäres Löslichkeitsmaximum; in den Böden Nr. 2 b und 4 b liegt dies bei der Reaktionszahl za. 4, im Boden Nr. 238 bei 4—5 und im Boden Nr. 9 bei 5—6. Was die drei erstgenannten betrifft lässt sich dies Verhalten freilich erklären als durch die Einwirkung der Sesquioxydkolloide hervorgerufen (vergl. Fig. 2), und für den Boden Nr. 9 ist auch diese Möglichkeit vorhanden. Man muss doch auch hier mit dem Verhältnis rechnen, dass, je nachdem die Reaktionszahl durch steigende Zufuhr von NaOH steigt, dann wird die Bodenschlämmung mehr und mehr feindispers, und gleichzeitig erhalten sowohl die Sesquioxyde als das Ca und Mg bessere Gelegenheit mit der Phosphorsäure zu reagieren. Man kann somit denken, dass das stattfindende Abnehmen der Löslichkeit, indem die Reaktionszahl gegen 8 steigt, teilweise von den Sesquioxyden und teilweise von dem Kalkbaseninhalt herrührt.

In dem humiden Boden Westnorwegens werden die aus seinen minerogenen Bestandteilen freigemachten Karbonate ausgewaschen, und der durch das Atmen der Mikroorganismen und der Pflanzenwurzeln zugeführte Kohlendioxyd erhält sozusagen keine Gelegenheit dazu, auf die Saloide des Bodens einzuwirken und

die Basoide als basische Karbonate zu binden, d. h. sie zu desaktivieren und damit Phosphorsäure eventuell freizumachen. Der zugeführte Kohlendioxyd wird im Bodenwasser gelöst, und die Reaktion des Bodens bestimmt die Zustandsformen des gelösten Kohlendioxyds. Durch Hilfe des Stärkeexponents der Kohlensäure, pK (= ÷ log K) = 6,5, kann leicht berechnet werden, wie der Kohlendioxyd sich %-weise auf die zwei Formen Kohlensäure ($CO_2 + H_2CO_3$) und Hydrokarbonation (HCO'_3) bei den im Boden aktuellen Reaktionen verteilt (siehe beistehende Figur). Unterhalb der Reaktionszahl za. 5 ist sozusagen all die gelöste Kohlensäure in nicht-dissoziiertem Zustand vorhanden, und erst wenn die Reaktion



Die Kurve gibt die Verbindung zwischen der Reaktion des Bodenwassers und dem Prozentteil seiner totalen Kohlensäure, die als freie Kohlensäure ($CO_2 + H_2CO_3$) und als Hydrokarbonation (HCO_3') vorkommt (nach Gaarder und Vindenes).

(Kurven angir forbindelsen mellem jordvannets reaksjon og den prosentdel av dets totalkullsyre der forekommer som fri kullsyre ($CO_2 + H_2CO_3$) og som hydrokarbonation (HCO_3')).

über 5 steigt, fängt sie an, in Hydrokarbonation merkbar zu dissoziieren. So kommen z. B. respektive 25, 50 und 96 % der totalen Kohlensäure des Bodenwassers bei den Reaktionszahlen 6, 6,5 und 8 als Hydrokarbonation vor.

In humiden Böden wird somit der zugeführte Kohlendioxyd sozusagen nichtdissoziiert auftreten, und hier erhalten deshalb die Humussäuren für die Freimachung der Bodenphosphorsäure im allgemeinen die grösste Bedeutung.

In ariden Böden dagegen wird der zugeführte Kohlendioxyd in deutlich merkbarem Grade in Hydrokarbonation überführt und erhält somit die Gelegenheit die Basen desaktivieren zu können, die die Bodenphosphorsäure binden, wodurch diese freigemacht und als Dihydro- und Hydrophosphation gelöst werden kann. In dem ariden Boden besorgen die Mikroorganismen und die Pflanzenwurzeln einen ständigen

Zugang von Kohlendioxyd, d. h. von Hydrokarbonationen, während sie die freigemachten Phosphatione anhaltend aufnehmen. Es stellt sich somit kein Gleichgewichtszustand ein und die Phosphorsäure kann deshalb allmählich aus dem Boden entfernt werden, selbst wenn im Bodenwasser im Untersuchungsaugenblick nur Spuren von Phosphorsäure vorkommen. Enthält indessen der Boden einen Überschuss von Kalziumkarbonat, $CaCO_3$, dann werden sich das zugeführte Kohlendioxyd und die gebildete Kohlensäure hauptsächlich mit diesem umsetzen und Kalziumhydrokarbonat bilden können; in dem Falle tragen sie zu der Freimachung der Bodenphosphorsäure schlecht bei.

Während somit in einem humiden Boden die Sesquioxyde resp. die Humussäuren die Bindung resp. die Freimachung der Phosphorsäure im allgemeinen prägen, dann geschieht dies in einem ariden Boden freilich durch das Kalzium (und das Magnesium) resp. die Kohlensäure.

Der Boden Westnorwegens ist im allgemeinen reich entweder an Sesquioxydkolloiden oder an Humussäurekolloiden und es geht somit deutlich hervor, wie ein Wechseln dieser zwei Faktoren auf die Bindung und Löslichkeit der Bodenphosphorsäure bei wechselnder Reaktion einwirkt. Dagegen ist der Boden arm an Kalzium und Magnesium (und kohlensauren Salzen d. h. Kohlensäure) und diese Faktoren erhalten somit keine Gelegenheit, auf die Löslichkeitskurve ihren Einfluss genügend deutlich und stark geltend zu machen. Die Einwirkung des Kalziums und Magnesiums wird somit erst klar hervorgehen, wenn Untersuchungen mit Bodenproben aus ariden Gegenden vorgenommen werden, wo verschiedenes von aktivem Kalzium und Magnesium im Boden vorhanden ist und wo gleichzeitig Sesquioxydkolloide und (oder) Humussäurekolloide die Gelegenheit haben nicht zu stark zu dominieren.

Der Versuch mit einem Lehmboden aus Ostnorwegen, der S. 77—83 besprochen wird, zeigt dies sehr deutlich (siehe Tab. 12 und Fig. 32). Der Inhalt dieses Bodens von Sesquioxydkolloiden, Kalk und Magnesia verleiht ihm eine starke Bindungsfähigkeit seiner Phosphorsäure und auch zugeführter Phosphorsäure gegenüber. Werden aber dem Boden Humussäurekolloide (Na-Humat) zugeführt, dann lässt sich nachweisen, wie sowohl Basoide als Kalk und Magnesium desaktiviert werden, und gleichzeitig geht aus dem Verlauf der Löslichkeitskurve deutlich hervor, dass sowohl Sesquioxyde als Kalk und Magnesium gerade innerhalb des Reaktionsgebietes, das nach früheren Untersuchungen für jede dieser Basen charakteristisch ist, ihre Bindungsfähigkeit am meisten ausgeprägt geltend machen (vergl. Fig. 1—2).

Die obengenannte Bodenprobe stammt aus der oberen Schicht eines Lehmbodens (von Halmbråten in der Nähe von Oslo), wo in 50 cm Tiefe graugefärbter, unverwitterter Lehm angetroffen wird. Eine Probe dieses grauen Lehms wird gleichfalls auf ihren verschiedenen Bestandteilen und auf ihrer Fähigkeit, Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion abzugeben, analysiert.

Der graue Lehmboden enthält kleine Mengen von wasserlöslichen Chloriden und ist somit seiner Zeit unter Seewasser abgesetzt. Seine übrigen Eigenschaften

gehen aus folgenden Daten hervor: Aktuelle Reaktionszahl = 7,23, Litergewicht von frischem Boden = 1260 g, kapilläres Wasser = 6,10 %, Glühverlust und Asche von trocknem Boden respektive 2,66 und 97,34 %, Kolloide pro kg trocknem Boden respektive 225 mg-Äquiv. Fe_2O_3, 294 mg-Äquiv. Al_2O_3, 73,3 mg-Äquiv. SiO_2 und 3,3 mg-Äquiv. Humus. Salzsäurelösliches CaO und MgO pro kg trocknem Boden respektive 245 mg-Äquiv. (= 6,885 g) und 892 mg-Äquiv. (= 17,96 g). Salzsäurelösliche PO_4 pro kg trocknem Boden 278 mg-Äquiv. (= 0,875 g). Der Boden ist mithin sozusagen frei von Humus und besitzt ein kleines Verhältnis $\frac{A}{B}$, nämlich 0,15, selbst wenn der Inhalt von Basoiden, 519 mg-Äquiv. pro kg trocknem Boden, an und für sich nicht so sehr bedeutend ist. Er enthält verschiedenes von Kalzium und besonders von Magnesium und zeigt wie genannt eine schwach basische Reaktion. Man kann somit erwarten, dass die Bodenphosphorsäure hier hauptsächlich an dem Kalzium gebunden vorkommt (vergl. Fig. 1—2).

Die Fähigkeit dieses Bodens, Phosphorsäure bei wechselnder Reaktion abzugeben, wird wie auf Seite 85 besprochen, bestimmt, und das Resultat ist in Tab. 16

Tabelle 16.

5 g Boden + a ml H_2O + b ml 0.1n HCl + c ml 0.1n NaOH.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
pH	8.6	8.3	7.7	7.1	6.65	6.3	6.2	5.55	4.6	4.05	3.65	3.1	2.75	2.6	2.5	2.25	2.1	1.9
mg PO_4 gelöst..	0	0.079	0.029	0	0	0	0	0	0	0.176	0.762	1.29	0.880	0.469	0.328	0.317	0.233	0.512	1.35

aufgeführt und in Fig. 34 graphisch dargestellt. Die Löslichkeitskurve hat hier, wie man es auch erwarten könnte, einen anderen Verlauf als bei den untersuchten Böden Westnorwegens (Fig. 33 a—d). Die Kurve zeigt, dass in dem Gebiete, in welchem Kalzium sich geltend machen kann, nämlich oberhalb der Reaktionszahl za. 5,5 (vergl. Fig. 1), da lösen sich entweder sozusagen keine (Reaktionsgebiet 5,5—7,7) oder nur sehr kleine Mengen (oberhalb der Reaktionszahl za. 8). Man könnte eben eine solche Form der Löslichkeitskurve erwarten, wenn, im Verhältnis zu der Bodenphosphorsäure, ein mässiger Überschuss von Eisen, Aluminium und Kalzium vorhanden ist (vergl. Fig. 2): Je nachdem die Reaktionszahl (durch Säurezusatz) unter 7,23 sinkt, erhält die aus dem Kalziumphosphat zuerst freigemachte Phosphorsäure die Gelegenheit, an den Aluminiumhydroxydkolloiden wieder gebunden zu werden und dieser Prozess setzt fort bis die Reaktionszahl auf za. 5,5 gesunken ist (siehe Fig. 34 und vergl. hiermit Fig. 2). Von nun an lösen sich mit fortgesetzt sinkender Reaktionszahl steigende Mengen von Phosphorsäure aus den basischen Aluminiumphosphaten, aber wenn die Reaktionszahl auf za. 3,7 hinablangt fängt die gelöste Phosphorsäure an von den Ferrihydroxydkolloiden als basisches Ferriphosphat gebunden zu werden und erreicht, wie man aus Fig. 34 ersieht, ein

ausgeprägt intermediäres Löslichkeitsminimum bei za. 2,4, denn indem die Reaktionszahl noch niedriger wird, beginnen die gefällten Ferriphosphate sich wieder zu lösen (vergl. hiermit Fig. 1—2). Es herrscht somit auch hier eine gute Übereinstimmung zwischen der Löslichkeit der Bodenphosphorsäure und dem Inhalt des Bodens von ionen- und kolloiddispersen Basen und Säuren.

Die Löslichkeitskurve gibt also einen charakteristischen Einblick in die Reaktionsfähigkeit der Bodenbestandteile und ihr Vermögen Phosphorsäure zu binden.

Untersuchungen über das Bindungsvermögen eines Bodens seiner Phosphorsäure und auch zugeführter wasserlöslichen Phosphorsäure gegenüber bei wechseln-

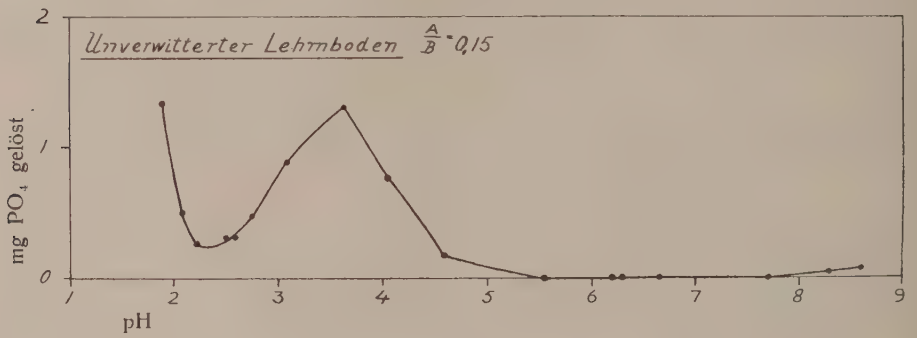


Fig. 34. Die Löslichkeit der Phosphorsäure eines unverwitterten Lehmbodens aus Ostnorwegen bei wechselnder Reaktion.

(Fosforsyrens opløselighet hos en uforvitret lerjord fra Østnorge ved vekslende reaksjon).

der Reaktion können somit wertvolle Erläuterungen über den aktiven Zustand und die Reaktionsfähigkeit einer Reihe seiner Bestandteile geben.

Der Verlauf der Löslichkeitskurve wird nämlich sehr charakteristisch von der Art, dem Mengenverhältnis zwischen und die Menge der im Boden vorhandenen aktiven ionen- und kolloiddispersen Basen — Fe_2O_3, Al_2O_3, CaO, MgO — und Säuren — Humussäure, Kieselsäure, Kohlensäure — geprägt. Die Kurve gibt somit auch, wenn sie einmal festgestellt ist, einen guten Einblick in die Reaktionsfähigkeit dieser Bodenbestandteile und ihr Vermögen, Phosphorsäure zu binden respektive freizumachen, wenn einem erst die Fähigkeit jedes einzelnen, sich der Phosphorsäure gegenüber bei wechselnder Menge und wechselnder Reaktion geltend zu machen, klar geworden ist.

Unsere Untersuchungen bestätigen somit die in der früheren Arbeit (Gaarder, 1930) gezogenen Schlussfolgerungen und machen klar, wie die obengenannten Bodenbestandteile die Bindung und Freimachung der Phosphorsäure im Erdboden bedingen.

Fosforsyrens binding i jordbunnen.

II. Undersøkelser på Vestlandet.

Kort oversikt.

I dette arbeide fremlegges resultatet av undersøkelser, som er blitt utført med et jordmateriale innsamlet fra udyrket mark på Vestlandet i Norge. De innsamlede prøver er altså fra et utpreget humid strøk, hvor jordens iondisperse bestanddeler har lett for å utvaskes.

Hensikten med undersøkelsene er å påvise og få et innblikk i de faktorer som betinger jordfosforsyrens vekslende kjemiske binding og frigjøring i jorden.

Der undersøkes 43 prøver fra ialt 21 jordarter og prøvene fordeler sig på de forskjellige jordtyper som angitt i tabell 1. Prøvene analyseres på innhold av kapillært og hygroskopisk vann, litervekt av frisk jord, glødetap, aske, reaksjonstall eller pH, elektrisk ledningsevne, oksyderbarhet, totalkvelstoff, vann- og saltsyreopløselig fosforsyre, saltsyreopløselig kalsium og magnesium i jordasken, anorganiske kolloider — Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO_2 — og humussyrekolloider.

Analyseresultatene fremgår av tabellene 2—16 og fig. 7—34.

Et stort mineralinnhold i jordens overlag betinger i almindelighet et høiere reaksjonstall enn et lite mineralinnhold, selv om jorden stammer fra grunnfjellstrakter slik som på Vestlandet (tab. 3). Mineralrike jorder podsoleres (destrueres) vanskeligere enn mineralfattige, og et stort mineralinnhold i overlaget betinger en forholdsvis liten reaksjonstall(pH)gradient mellem overlag og underlag (tab. 4).

Reaksjonstallets størrelse preges av jordprøvens innhold av acidoider (humussyre og kiselsyre), A, og basoider (sesquioksyder), B, som her angis i mg-ekv. pr. kg tørr jord. Jo større forholdet mg-ekv. acidoider : mg-ekv. basoider eller $\frac{A}{B}$ er, desto lavere er i almindelighet reaksjonstallet (pH) (fig. 8). Alle undersøkte jordprøver som avgir påvisbare mengder vannopløselig fosforsyre, har et reaksjonstall $\leq$ 4,5 m. a. o. et relativt betydelig innhold av acidoider. Mellem jordens ledningsevne og dens reaksjonstall kan der også iakttas en viss forbindelse (fig. 9), og ledningsevne og humuskolloidinnhold øker nogenlunde tilsvarende med avtagende reaksjonstall (sml. fig. 7 og fig. 9). Økende oksyderbarhet ledsages i almindelighet av økende glødetap og økende humuskolloidinnhold (fig. 10 og fig. 11). Med økende mengde av organisk stoff øker den relative mengde av vanskelig oksyderbare stoffer.

De undersøkte prøver fra løvskog- og løvskog-nåleskogjord (fig. 13 og fig. 14) viser ikke antydning til blekjorddannelse, sikkert fordi overlaget her er meget mineralrikt. Hos den undersøkte nåleskogjord (fig. 15) er der mindre av minerogene bestanddeler i overlaget og her synes råhumusdannelse å være under utvikling. De undersøkte prøver fra lyngjord (tab. 5) viser at efterhvert som det øvre lags mineralinnhold avtar, blir jorden mer og mer tett, seig og humussyrerik og desto mere omfattende er podsoleringen (fig. 16—20): Hos jord nr. 6 (fig. 16) og nr. 5 (fig. 17) kan der ikke konstateres blekjordlag i profilet, hos nr. 2 (fig. 18) iakttas et svakt tilløp, hos nr. 3 (fig. 19) er blekjordlaget 4 cm tykt og hos nr. 4 (fig. 20) 10 cm tykt. Avtagende mineralinnhold i overlaget betinger således økende blekjorddannelse; men er på den annen side overlaget tilstrekkelig rikt på mineralpartikler (jord nr. 6 og nr. 5), så dannes en løs, bare svakt torvaktig jord, selv på utpreget grunnfjellsområde. Her motvirkes humussyresol-dannelse og omfattende destruksjon, men ikke dannelse og nedslemming av uorganiske kolloider. Dette forhold kan tjene til å forklare at der forholdsvis sjelden optrer utpregede blekjordprofiler i Vestlandsjorden.

Jordens hygroskopisk bundne vann stiger gjennemgående proporsjonalt med dens innhold av (organiske og uorganiske) kolloider, inntil kolloidmengden utgjør ca. 30 % av den tørre jord. Fra nu av stiger vannmengden adskillig langsommere med fortsatt økende kolloidinnhold, og når sin maksimumsverdi eller ca. 16 % idet kolloidinnholdet når ca. 50 % (fig. 21).

N-% av den tørre jord stiger i almindelighet efterhvert som jordens og vegetasjonens kvalitet synker (tab. 6). N-% av jordens organiske stoff synker derimot efter hvert som jordens og vegetasjonens kvalitet synker (tab. 7), og den avtar også i almindelighet med stigende dybde, når man fra overlaget kommer ned i underlaget og undergrunnen (fig. 22).

Rystes en vandig jordopslemning, så endres jordkolloidenes struktur og dermed mengden av aktive bestanddeler i merkbar grad, for rystes der i lengere tid kan såvel opslemningens bindingsevne overfor fosforsyre som dens reaksjonstall (pH) endres merkbart, (sml. pH-verdiene i tab. 13). De resultater som man kommer til ved hjelp av vandige jordopslemninger, svarer derfor aldri helt ut til forholdene i den naturlige jord.

Har jorden et overskudd av basoider i forhold til acidoider, så avgir den ikke, eller bare i ytterst svak grad, påvisbare mengder fosforsyre; har den derimot et overskudd av acidoider, så avgir den relativt betydelige mengder (tab. 8—9 og fig. 23). Det er derfor mengden av og mengdeforholdet mellem jordens aktive acidoider og basoider som bestemmer den humide Vestlandsjords evne til å avgi vannopløselig fosforsyre.

I en jord hvor der er likevekt mellem aktive acidoider og basoider eller hvor acidoidene er til stede i overskudd, d. e. i humusrike jorder, er der således god tilgang på vannoploselig fosforsyre. Jo mere innholdet av aktive basoider overstiger innholdet av aktive acidoider, desto større er jordens adsorpsjons- eller bindingsevne overfor tilført fosforsyre (fig. 26).

I Vestlandsjorden er det sesquioksydene som binder fosforsyren. Denne har her en tendens til å bli nedslemmet fra de øvre (humussyrerike) til de dypere (sesquioksydrike) lag og det desto mere jo mineralfattigere overlaget er (fig. 27 og fig. 28).

Også kalsium og magnesium har en tendens til å øke i mengde med dybden og der er i almindelighet en tydelig overensstemmelse mellem den vertikale veksling av kalsium, magnesium og fosforsyre (fig. 27 og fig. 28).

Kolloidal kiselsyre frigjør fosforsyre fra en jord innenfor et ganske omfattende reaksjonsområde (tab. 11 og fig. 29—31). Den har vanskeligst for å desaktivere sesquioksydkolloidene ved pH ca. 4,5 og kalken ovenfor pH ca. 6,5—7, d. e. nettop ved de reaksjonsverdier som man efter tidligere undersøkelser (Gaarder 1930) kunde vente det (se fig. 4—6).

Humussyrekolloider frigjør fosforsyre innenfor hele reaksjonsområdet 2—8,5, dersom de tilsettes i overskudd over jordens sesquioksyder og kalk- og magnesiumbaser (tab. 12 og fig. 32).

I en humid jord blir den fra mikroorganismer og planterøtter tilførte kulldioksyd alene overført i udissociert kullsyre og så å si ikke i hydrokarbonationer (se fig. s. 99). Kullsyren spiller derfor en uvesentlig rolle for frigjøringen av jordfosforsyren i en humid jord. I en arid jord blir den tilførte kulldioksyd i større eller mindre grad overført i hydrokarbonationer (se fig. s. 99) og får derved anledning til å desaktivere de baser som her binder jordfosforsyren.

Mens det derfor i almindelighet er sesquioksydene resp. humussyrene som preger fosforsyrens binding resp. frigjøring i en humid jord, så vil i almindelighet kalsium-(og magnesium-)basen resp. kullsyren prege bindingen resp. frigjøringen i en arid jord.

Jordfosforsyrens opløselighetskurve, d. e. opløseligheten av jordfosforsyren ved vekslende reaksjonstall eller pH, preges således hovedsakelig av mengden av og mengdeforholdet mellem de i jorden tilstedeværende aktive ion- og kolloiddisperse syrer (humussyre, kiselsyre, kullsyre) og baser (sesquioksyder, kalk og magnesia).

Vestlandsjorden er fattig på aktive iondisperse baser og kullsyre (karbonater) og dens mest almindelige reaksjon er pH 4—5. Her er det derfor de kolloiddisperse baser (Fe_2O_3, Al_2O_3) og syrer (humussyre, (kiselsyre)) som hovedsakelig preger bindingsevnen og evnen til å avgi fosforsyre. I tab. 13 er de undersøkte jordprøvers basoider, B, og acidoider, A, angitt som mg-ekv. pr. kg tørr jord og i særskilte kolonner er jordens overskudd av basoider i forhold til acidoider eller B ÷ A opført og likeledes forholdet mellem acidoidene og basoidene eller $\frac{A}{B}$. Forholdet $\frac{A}{B}$ veksler mellem ca. 0,1 og ca. 8. Som regel viser en jordprøve enten et stort overskudd av basoider d. e. et forholdstall langt under 1 eller et overskudd av acidoider d. e. et forholdstall større enn 1. Jordfosforsyrens opløselighet preges derfor sterkt av jordens acidoider og basoider.

Dette fremgår av tab. 14—15 og fig. 33 a—d. Som et tilnærmet mål for acidoidenes og basoidenes innvirkning benyttes her forholdet $\frac{A}{B}$. Jo mindre $\frac{A}{B}$ er desto mer utpreget holder jorden fast på sin fosforsyre. Men jo mindre betydelig overskuddet av basoider er, desto mindre omfattende er også det reaksjonsområde, hvori jorden holder fast på fosforsyren. Så lenge som $\frac{A}{B}$ er < 1 gjør basoidene sig sterkt gjeldende i det sure område av reaksjonsskalaen, og da især ved pH 2—5. Kommer $\frac{A}{B}$ over ca. 0,44, så går der i almindelighet påvisbare mengder av fosforsyre i opløsning i hele pH-området 2—9. Stiger $\frac{A}{B}$ over 1, så frigjøres der overalt relativt betydelige mengder, og de med reaksjonstallet, pH, minst vekslende opløselighetsforhold iakttas hos den jord som har det største forholdstall $\frac{A}{B}$. For opløselighetskurvens nærmere forløp spiller den enkelte jords struktur d. e. mengden og arten av dens aktive komponenter en avgjørende rolle. Sesquioksydene gjør sig først og fremst merkbart gjeldende i reaksjonsområdet 2—5 og ovenfor ca. 6 evner kalken undertiden å gjøre sig merkbart gjeldende i Vestlandsjorden.

Opløselighetskurven antar de mest ekstreme forløp i de jordprøver hvor der er et stort overskudd av basoider eller et stort overskudd av acidoider. I de førstnevnte (jord nr. 8, fig. 33 a) er fosforsyren praktisk talt uopløselig i hele reaksjonsområdet ca. 3—8, i de sistnevnte (jord nr. 4 b, fig. 33 d) er fosforsyrens opløselighet meget betydelig og lite avhengig av reaksjonen.

Mellem disse to ekstremer er der muligheter for alle tenkelige overgangstyper av opløselighetskurven, alt efter som forholdet mellem og mengden av en jords ion- og kolloid-disperse (aktive) baser — Fe_2O_3, Al_2O_3, CaO, MgO — og syrer — humussyre, kiselsyre, kullsyre — veksler. Alt efter jordforholdene vil derfor opløselighetskurven kunne vise mer eller mindre utpregede maksima eller minima, så å si innenfor ethvert område av reaksjonsskalaen.

I Vestlandsjorden er det av basene fremforalt Fe_2O_3 og Al_2O_3 som preger kurveforløpet. De evner å fremkalle opløselighetsminimum i pH-området ca. 2—4 (jernhydroksydkolloidene især omkring ca. 2—3, aluminiumhydroksydkolloidene især omkring ca. 4) og jo mere der er til stede av aktive basoider i forhold til aktive acidoider, desto mer utpreget og omfattende blir minimumsområdet. En gradvis utvikling av dette forhold iakttas når man betrakter opløselighetskurven for de undersøkte jordprøver i den rekkefølge hvori forholdet $\frac{A}{B}$ avtar d. e. i rekkefølgen: Acidum huminicum preparat, 4 b, 238, 2 b, 9, 226, 5 a, 240 a, 1 b, 247 b, 2 c og 8 (se fig. 33 d — fig. 33 a). Sml. hermed forholdene slik som de fremgår av fig. 1, 2 og 3 og i den rekkefølge som her nevnt.

Vestlandsjorden er i almindelighet enten rik på sesquioksydkolloider eller på humussyrekolloider, og den klargjør derfor tydelig hvorledes en veksling av disse faktorer innvirker på opløselighetskurvens forløp d. e. på fosforsyrens binding og

frigjøring ved vekslende reaksjon. Derimot er den fattig på kalsium, magnesium og karbonater, og disse faktorer får derfor ikke anledning til å gjøre sin innflytelse tilstrekkelig tydelig gjeldende på oppløselighetskurven. Deres innvirkning kan derfor først klart påvises, når undersøkelsene også utstrekkes til jordprøver fra aride strøk, hvor der er til stede adskillig av kalsium og magnesium og hvor sesquioksyd- og (eller) humuskolloider ikke har anledning til samtidig å dominere for meget.

Tidligere undersøkelser (G a a r d e r l. c.) viser at kalsium evner å binde fosforsyre fra pH ca. 5 og desto mer omfattende jo høiere reaksjonstallet stiger mot nøitralpunktet. Hos flere av de undersøkte Vestlandsjorder viser oppløselighetskurven tilløp til et mer horisontalt forløp i reaksjonsområdet 6—7. Hos jord nr. 240 a (fig. 33 b) fremgår dette særlig tydelig, idet fosforsyren her avtar i oppløselighet idet pH stiger fra 6 til 7,4, og nettop denne jord har det største Ca-innhold av alle undersøkte prøver.

Et par supplerende forsøk med lerjordprøver fra Østlandet i Norge viser at når humussyrekolloidene gjør sig meget lite gjeldende og samtidig kalsium (og magnesium) gjør sig sterkere gjeldende enn i Vestlandsjorden, da har også oppløselighetskurven et annet forløp og preg. Inneholder således jorden omtrent ikke humuskolloider, men adskillig av både sesquioksydkolloider og kalk og magnesia, så viser den en utpreget bindingsevne overfor sin fosforsyre og bindingsevnen er utpreget nettop innenfor de reaksjonsområder som man efter tidligere undersøkelser (G a a r d e r 1930) kunde vente (se fig. 32, kurve A og sammenlign med fig. 1 og 2). Inneholder den omtrent humusfri jord derimot forholdsvis mindre mengder av aktive sesquioksydkolloider, men adskillig av kalk og magnesia, så gjør sesquioksydkolloidene sig mindre sterkt gjeldende, mens kalk og magnesia binder omfattende (se fig. 34 og sml. med fig. 2).

Oppløselighetskurvens forløp preges således meget karakteristisk av arten, mengden av og mengdeforholdet mellem de i jorden tilstedeværende aktive ion- og kolloiddisperse baser — Fe_2O_3, Al_2O_3, CaO, MgO og syrer — humussyre, kiselsyre, kullsyre. Kurven gir derfor omvendt et godt innblikk i disse jordbestanddelers aktive mengder d. e. reaksjonsdyktighet og evne til å innvirke på fosforsyre, når man først er blitt klar over hver enkelts evne til å gjøre sig gjeldende overfor fosforsyren ved de forskjellige reaksjonsverdier.

Undersøkelsene bekrefter således de slutninger som blev trukket i det tidligere arbeide (G a a r d e r 1930), og klargjør hvorledes de ovennevnte jordbestanddeler betinger fosforsyrens binding og frigjøring i jorden.